

Міністерство освіти і науки України
Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана
Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)
відділення телекомунікацій та електронних систем
(назва відділення)
циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

фаховий молодший бакалавр

(освітньо-професійний ступінь)

на тему: Розробка конструкції світлодіодного аналізатора спектру

Виконав: студент (ка) IV курсу, групи ТР-402

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма: «Конструювання, виробництво та
технічне обслуговування радіотехнічних пристроїв».

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Фостенко А.О

(прізвище та ініціали)

Керівник

Штогрин П.І

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дедів І.Ю

(прізвище та ініціали)

**Відокремлений структурний підрозділ
«Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»
Відділення телекомунікацій та електронних систем
Циклова комісія телекомунікацій та радіотехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень молодший спеціаліст
Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Спеціалізація «Конструювання, виробництво та технічне обслуговування
радіотехнічних пристроїв».**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
телекомунікацій та радіотехніки
_____ Ольга ВАСИЛИШИН
“05” _____ травня 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

_____ Фостенко Артем Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи _____ Розробка конструкції світлодіодного аналізатора спектру

керівник кваліфікаційної роботи _____ Штогрин Павло Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

КР затверджені наказом закладу фахової передвищої освіти від 27.02.2026 року №4/9-133.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи: 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Анотація

Вступ. Призначення і область застосування радіопристрою

Розділ 1 Загальна частина

1.1 Розробка технічного завдання

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

Розділ 2 Спеціальна частина

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис конструювання виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів

- 2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції
- 2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази
- 2.1.4 Опис програми мікроконтролера
- 2.1.5 Опис конструкції друкованої плати
- 2.1.6 Розрахунок надійності проектного виробу
- 2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу
- 2.2 Технологічна частина
 - 2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу
- Вибір типу технології
- 2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції
- 2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів
- 2.2.4 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання монтажу виробу
- 2.2.5 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

- 3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень
- 3.2 Розрахунок собівартості продукції
- 3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

- 4. Методи боротьби зі шкідливими речовинами на виробництві
- 4.2 Види виробничого освітлення

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

Додаткові вказівки:

Виконання проекту (з виготовленням макета, стенда, приладу і т.д.)

3 виготовлення макета

- 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 - Аркуш №1 Схема електрична принципова
 - Аркуш №2 Схема електрична структурна або функціональна (при необхідності)
 - Аркуш №3 Креслення плати друкованої
 - Аркуш №4 Складальне креслення друкованого вузла
 - Аркуш №5 Складальне креслення виробу
 - Аркуш №6 Креслення деталі (елемент корпусу, радіатор, тримач, планка і т.д.) при необхідності
 - Аркуш №7 Таблиця ТЕП

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Оксана КУЩАК		
Охорона праці	Генадій ГОРЯЧИК		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	05.05	
2	Збір і узагальнення інформації по проекту	13.05	
3	Написання першого розділу	25.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	29.05	
5	Написання спеціального розділу	29.05	
6	Розрахунок економічної частини	25.05	
7	Написання розділу охорони праці	26.05	
8	Виконання графічної частини	19.05	
9	Оформлення проекту	08.06	
10	Погодження нормоконтролю	12.06	
11	Попередній захист проекту	16.06	
12	Захист проекту	23.06	

7. Дата видачі завдання 05 травня 2026р.

Студент

(підпис)

Фостенко А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Штогрин П. І.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	7
ВСТУП. Призначення і область застосування радіопристрою.....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1 Розробка технічного завдання	9
1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу	10
1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз.....	12
РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	13
2.1 Розрахунково-конструкторська частина.....	13
2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів.....	13
2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції.	16
2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази	19
2.1.4 Опис програми мікроконтролера	35
2.1.5 Опис конструкції друкованої плати.	39
2.1.6 Розрахунок надійності проектного виробу.....	41
2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу.	44
2.2 Технологічна частина.....	45
2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектного виробу Вибір типу технології.....	45
2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції.	46
2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів	48
2.2.4 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання монтажу виробу	50

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ Докум	Підпис	Дата	Світлодіодний аналізатор спектра звуку Пояснювальна записка				
Розробив	Фостенко								
Перевірив	Штогрин								
Рецензент									
Н. контроль	Задорожний								
Затвердив					ВСП ТФК ТНТУ ТР-402 м. Тернопіль				

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	51
3.1 Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проектних рішень	51
3.2 Розрахунок собівартості продукції.....	53
3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень.....	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	62
4. Методи боротьби зі шкідливими речовинами на виробництві	62
4.2 Види виробничого освітлення	66
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71
ДОДАТКИ	73

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Фостенко А.О. Розробка конструкції десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра, за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2026.

Розроблений пристрій являє собою десятисмуговий світлодіодний аналізатор спектра звукового сигналу, призначений для візуального відображення частотного складу аудіосигналу в режимі реального часу. Аналізатор забезпечує поділ вхідного сигналу на десять частотних смуг із подальшим відображенням рівня кожної складової за допомогою світлодіодної матриці 10×10 .

Основою пристрою є мікроконтролер ATmega8, який виконує обробку аудіосигналу та керування світлодіодною індикацією. Для узгодження та підсилення вхідного сигналу використовується операційний підсилювач, а стабілізація напруги живлення здійснюється за допомогою інтегрального стабілізатора. Пристрій підтримує декілька режимів роботи світлодіодної індикації, що дозволяє відображати рівень звукового сигналу у різних форматах.

Конструктивно пристрій складається з пластмасового корпусу, друкованої плати, світлодіодної матриці, кнопок керування та з'єднувальних елементів. Корпус виконаний із двох частин — верхньої кришки та нижньої основи, які з'єднуються гвинтовим способом. На передній панелі розташовані світлодіодна матриця та кнопки керування режимами роботи, а на задній — роз'єми для підключення джерела живлення та вхідного аудіосигналу.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ. Призначення і область застосування аналізатора спектра

У даній роботі розглянуто розробку десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу, призначеного для наочного відображення частотного складу аудіосигналів у реальному часі. Актуальність роботи зумовлена широким використанням спектрального аналізу під час налагодження, дослідження та експлуатації сучасної звуковідтворювальної апаратури, а також необхідністю створення доступних та компактних вимірювальних пристроїв навчального і практичного призначення.

У роботі проаналізовано принцип спектрального розкладання сигналів та розглянуто особливості побудови багатосмугових індикаторних систем. Охарактеризовано принцип дії аналізатора спектра, який базується на поділі вхідного сигналу на окремі частотні діапазони за допомогою активних смугових фільтрів. Кожна смуга відповідає певному інтервалу частот звукового діапазону, а рівень сигналу в ній відображається за допомогою світлодіодної індикації, що забезпечує швидке візуальне оцінювання спектральної картини сигналу.

У процесі виконання роботи обґрунтовано вибір сучасної елементної бази, що дозволяє забезпечити мініатюрність конструкції, зниження енергоспоживання та підвищення надійності пристрою. Використання інтегральних схем і функціонально завершених вузлів сприяє спрощенню схеми, зменшенню кількості дискретних елементів та підвищенню стабільності параметрів. Розроблено структурну та принципову схеми пристрою, визначено основні електричні параметри, а також розглянуто особливості роботи індикаторної частини.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Розробка технічного завдання

Пристрій призначений для візуалізації частотного складу аудіосигналу з роз'єму RCA в діапазоні від 31 Гц до 16 кГц на 10 дискретних смуг. Область застосування охоплює налагодження звукової апаратури та навчальні цілі. Підставою є виконання кваліфікаційної роботи з метою створення надійного, компактного та доступного приладу на базі мікроконтролера з цифровим обчисленням спектра. Візуалізація реалізована на світлодіодній матриці 10х10 елементів діаметром 3 мм у режимах Точка, Стовпчик чи Пікова фіксація, а керування забезпечують дві тактові кнопки.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики виробу

№ з/п	Найменування технічного параметра або характеристики	Одиниця виміру	Значення параметра
1	Габаритні розміри корпусу виробу	мм	170 × 83
2	Робочий діапазон температур працездатності пристрою	°C	0 ... +40
3	Відносна вологість навколишнього повітря (при +25 °C)	%	85
4	Номінальна напруга живлення постійного струму	В	+12
5	Напруга живлення внутрішніх цифрових мікросхем	В	+5
6	Максимальний струм споживання при повній яскравості	мА	250
7	Струм споживання у режимі очікування (за відсутності сигналу)	мА	40
8	Номінальна споживана потужність пристрою, не більше	Вт	3,0
9	Загальна кількість світлодіодних елементів у матриці	шт.	100 (10×10)
10	Частота оновлення кадрів динамічної індикації, не менше	Гц	60

1.2 Вибір і опис структурної схеми виробу

Для забезпечення стабільного, надійного та ефективного функціонування десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу в режимі реального часу було розроблено оптимальну структуру пристрою. Вона базується на поєднанні аналогового тракту обробки сигналу, цифрового обчислювального ядра архітектури AVR, вузлів силової комутації анодних і катодних кіл матриці індикації, а також розгалуженої системи стабілізації та розподілу живлення.

Відповідно до обраного принципу побудови, схема електрична структурна розроблюваного пристрою містить такі основні функціональні блоки:

1. Зовнішнє живлення 12 В — первинне джерело постійної напруги, яке забезпечує енергією аналогову частину пристрою та подає вхідний потенціал на вузол стабілізації.
2. Стабілізатор напруги (5 В) — вузол фільтрації та лінійної стабілізації, що знижує первинну напругу до номінального рівня 5 В, необхідного для безпечної роботи цифрових компонентів.
3. Живлення +5 В для ATmega8 та ключів — центральний розподільчий вузол, який безпосередньо забезпечує стабілізованою напругою мікроконтролер та формує загальну шину живлення для транзисторних ключів.
4. Звуковий сигнал — джерело вхідного аудіосигналу лінійного рівня від зовнішнього програвача, що підлягає спектральному аналізу.
5. Операційний підсилювач — аналоговий каскад попередньої обробки, який живиться напругу від джерела 12 В, здійснює підсилення та зміщення сигналу перед його подачею на вхід АЦП.
6. Мікроконтролер ATmega8 — блок цифрової обробки сигналу, виконання алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (FFT) та координації динамічного керування всіма вузлами індикації.
7. Кнопки керування — блок користувацького інтерфейсу на базі тактових кнопок, підключений до портів введення-виведення мікроконтролера для оперативного перемикавання режимів відображення.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Дешифратор CD4028 — логічний блок перетворення двійкового коду адреси від мікроконтролера в унітарний код для почергового вибору активного каналу (стовпця) матриці.

9. Транзистори керування катодами (Стовпцями) — масив підсилювальних транзисторних ключів, які за сигналами дешифратора комутують відповідні стовпці світлодіодної матриці на загальний провід.

10. Транзистори керування анодами (Рядками) — масив підсилювальних транзисторних ключів для керування рядками рівнів, які комутують анодні кола матриці за прямими командами від мікроконтролера.

11. Світлодіодна матриця 10x10 — кінцевий модуль візуалізації частотних смуг, що відображає спектрограму на перетині динамічно увімкнених анодних та катодних ліній.

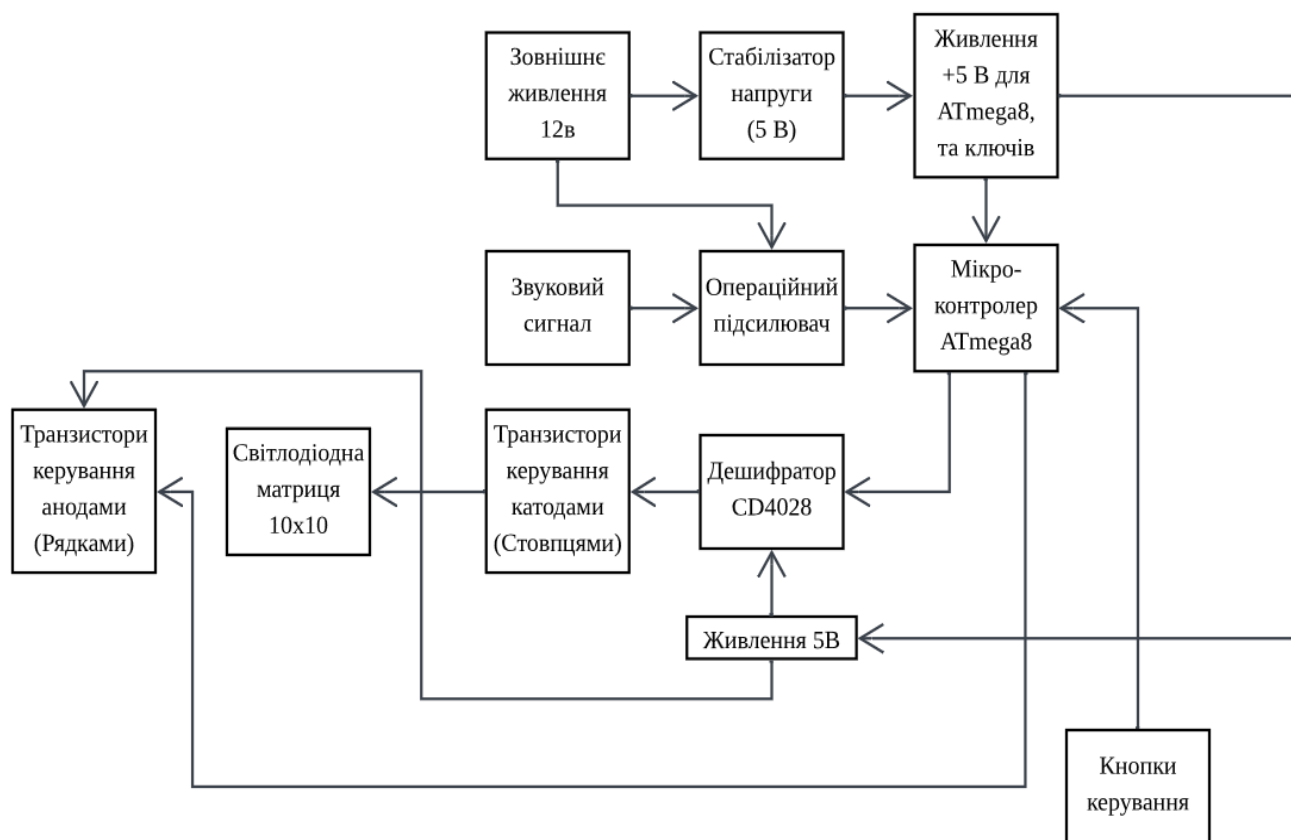


Рисунок 1.1 – Структурна схема світлодіодного аналізатора спектра

1.3 Опис принципу роботи схеми електричної принципової та її аналіз

Пристрій є світлодіодною матрицею розрядністю 10×10 елементів на базі мікроконтролера, що призначена для динамічної візуалізації рівня вхідного аудіосигналу. Схема містить такі функціональні вузли:

- Блок живлення: Лінійний інтегральний стабілізатор знижує зовнішню напругу з +12 В до робочих +5 В. Конденсатори С1–С4 різної ємності здійснюють повну фільтрацію вхідних та вихідних перешкод.
- Вхідний каскад: Попередній інвертуючий підсилювач на малошумному ОП TL071 з фіксованим коефіцієнтом підсилення. Конденсатор С7 на вході надійно відсікає постійну складову звукового джерела.
- Амплітудний детектор: Швидкодійні діоди VD1, VD2 (1N4148) випрямляють змінний сигнал і захищають вхід МК від небезпечної від'ємної напруги. Інтегруючий НЧ-фільтр R26, R27, C10 виділяє чисту обвідну напругу для аналізу.
- Мікроконтролер: Обчислювальний 8-бітний чип ATmega8, який стабільно тактується зовнішнім кварцовим резонатором (16 МГц) Ланочка R28, C5, C6 додатково згладжує опорну напругу AVCC.
- Драйвери матриці: Рядки (аноди) керуються транзисторами VT1–VT10 (BC557) через струмообмежувальні резистори R1–R10, а стовпці (катоди) — двійково-десятковим дешифратором CD4028 через ключі VT11–VT20 (BC337).
- Матриця: Складається зі 100 напівпровідникових світлодіодів (20 жовтих пікових та 80 зелених базових), які підключені до схеми через роз'єми.
- Принцип роботи динамічної індикації:

Мікроконтролер оцифровує сигнал через АЦП. Програма покроково перемикає стовпці, одночасно підсвічуючи відповідні рядки матриці. Наприкінці кожного такту лінії рядків примусово переводяться у високий стан (HIGH) — це повністю усуває паразитний ефект «примарного» свічення сусідніх діодів. Через високу частоту розгортки (понад 50 Гц) та інерційність людського ока швидке миготіння каналів зливається у суцільну плавну анімацію спектра.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунково-конструкторська частина

2.1.1 Опис компонування виробу. Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів і покриттів

Компонування розроблюваного десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра базується на принципах модульності, ергономіки, мінімізації габаритних розмірів та забезпечення максимальної експлуатаційної надійності. Конструктивно пристрій складається з пластмасового захисного корпусу, всередині якого розміщується основний друкований вузол. Конструкція корпусу розділена на дві функціональні частини: нижню основу, що виконує роль тримача для електронних компонентів, та верхню плоску кришку, яка надійно закриває внутрішній об'єм пристрою.

В основі об'ємного планування лежить раціональний розподіл аналогових, цифрових та індикаторних кіл для зниження паразитних електричних зв'язків та завад. Інтегральні мікросхеми, включаючи обчислювальний мікроконтролер ATmega8 та десятковий дешифратор CD4028, розташовані поблизу геометричного центра друкованої плати. Таке рішення дозволило суттєво скоротити довжину провідників, що оптимізує трасування та підвищує стабільність роботи цифрового ядра на високій тактовій частоті 16 МГц.

Органи інтерфейсу та індикації винесені на панелі корпусу з урахуванням зручності взаємодії з користувачем:

- Передня панель: містить прямокутний монтажний отвір під світлодіодну індикаторну матрицю формату 10×10 елементів, отвір для контрольного світлодіода, а також посадкові місця для двох тактових кнопок ручного керування, оснащених декоративними накладками.
- Задня панель: містить круглі отвори для комутації зовнішніх інтерфейсів, а саме гнізда RCA для подачі лінійного аудіосигналу та гнізда постійного струму DC Power Jack для підключення зовнішнього джерела живлення напругою 12 В.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи світлодіодної індикації, що складаються зі 100 світлодіодів діаметром 3 мм, винесені на окрему плату у верхній частині корпусу. Механічна фіксація основного друкованого вузла та індикаторної панелі всередині контейнера реалізована гвинтовим способом за допомогою чотирьох монтажних стійок з різьбовими отворами, розташованих по кутах основи. Це забезпечує жорсткість конструкції при механічних ударах чи вібраціях, а також гарантує можливість багаторазового розбирання пристрою під час технічного обслуговування чи ремонту. Для запобігання ковзанню пристрою на робочій поверхні та для амортизації механічних навантажень на нижній площині корпусу встановлено чотири гумові опорні ніжки.

Аналіз теплових режимів показав, що застосовані радіoelementи характеризуються вкрай малим тепловиділенням. Лінійний стабілізатор напруги LM7805 працює в полегшеному режимі, а цифрова частина та транзисторні ключі мають низьку споживану потужність. З цієї причини використання радіаторів, активних систем охолодження або виконання вентиляційних отворів у корпусі є недоцільним. Відсутність перфорації додатково захищає внутрішні електронні компоненти від потрапляння пилу та випадкових бризок вологи.

Обґрунтування вибору конструкційних матеріалів корпусу

Вибір матеріалу для виготовлення корпусу аналізатора спектра визначається вимогами щодо забезпечення механічної міцності, довговічності, низької питомої ваги, високих електроізоляційних властивостей та технологічності у масовому виробництві. Для реалізації конструкції було обрано ударостійкий аморфний полімер — сополімер акрилонітрилу, бутадієну і стиролу (ABS-пластик).

Вибір ABS-пластику обґрунтований такими його фізико-хімічними та експлуатаційними характеристиками:

- Механічна міцність: матеріал має високу стійкість до ударних навантажень, деформацій та подряпин, що гарантує надійний захист внутрішньої плати при падіннях пристрою.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Діелектричні властивості: пластик є відмінним ізолятором, що повністю виключає ризик ураження користувача електричним струмом або виникнення коротких замикань при контакті струмопровідних доріжок із корпусом.

- Екологічна та хімічна стійкість: ABS-пластик стійкий до дії вологи, мастил, лугів та мийних засобів, не виділяє токсичних речовин при тривалій експлуатації та зберігає стабільність параметрів у температурному діапазоні від мінус 20 до плюс 70 градусів Цельсія.

- Технологічність: матеріал ідеально підходить для виготовлення деталей складної геометричної конфігурації методом лиття під тиском. Цей метод забезпечує високу повторюваність розмірів у крупносерійному виробництві та низьку собівартість готового виробу.

Обґрунтування вибору матеріалів друкованої плати та покрить

Друкована плата є основним носієм електронних компонентів і провідникового малюнка. Виходячи з вимог третього класу точності, необхідності забезпечення жорсткості та стійкості до температурних навантажень під час паяння, як базовий матеріал було обрано двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35 товщиною 1,5 мм.

Переваги вибору склотекстоліту СФ-2-35:

- Основа матеріалу: являє собою склотканину, просочену епоксидним сполучним, що забезпечує високу механічну міцність на вигин та розрив, а також низький коефіцієнт теплового розширення.

- Провідниковий шар: з обох боків плата покрита високоочищеною мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм. Ця товщина є оптимальною для пропускання номінальних струмів живлення та забезпечує надійне зчеплення з основою, запобігаючи відшаруванню доріжок при нагріванні паяльною станцією.

Для захисту мідного провідникового малюнка від окислення, корозії та зовнішніх впливів, а також для забезпечення якісного процесу паяння, застосовуються спеціальні конструкційні покриття:

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Гальванічне лудіння (покриття олово-свинець або чисте олово): наноситься на контактні площадки друкованої плати. Воно покращує змочуваність виводів радіоелементів припоєм, знижує перехідний опір контактів і захищає відкриту мідь від швидкої корозії у вологому середовищі.

2. Захисна паяльна маска (епоксидний або поліуретановий лак): наноситься на всю поверхню друкованої плати, за винятком контактних площадок під паяння. Маска виконує функцію діелектричного ізолятора між близько розташованими доріжками, запобігає утворенню перемичок із припою під час хвильового паяння та захищає плату від згубного впливу пилу та атмосферної вологи в процесі тривалої експлуатації аналізатора спектра.

2.1.2 Обґрунтування вибору конструкції

Конструктивне виконання основного друкованого вузла безпосередньо визначає експлуатаційну надійність, завадостійкість та габаритні розміри десятимугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу. Головним конструктивним елементом, що об'єднує всі радіоелектронні компоненти в цілісну систему, є двостороння друкована плата. Вибір її параметрів обумовлений необхідністю стабільної взаємодії між чутливим аналоговим трактом попереднього посилення на операційному підсилювачі TL071, цифровим обчислювальним ядром мікроконтролера ATmega8 та силовими імпульсними колами динамічного керування матрицею зі 100 індикаторних світлодіодів.

Для забезпечення високої механічної міцності та стабільності електричних параметрів друкована плата приладу виготовлена комбінованим позитивним методом із використанням двостороннього фольгованого склотекстоліту марки СФ-2-35-ІКП. Товщина діелектричної основи становить 1,5 мм, що є оптимальним інженерним рішенням для друкованих вузлів із високою щільністю монтажу. У процесі виготовлення спочатку наноситься світлочутливий шар фоторезисту і формується точний шаблон майбутніх провідників. Після цього незахищені ділянки мідної фольги піддаються хімічному травленню у спеціальних розчинах, утворюючи задану топологію провідних доріжок і площадок.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина фольги 35 мкм з обох боків плати повністю задовольняє вимогам щодо пропускної здатності кіл живлення та заземлення, запобігаючи перегріву провідників при пікових навантаженнях світлодіодної матриці.

Важливою конструктивною особливістю є те, що всі монтажні та перехідні отвори піддаються обов'язковій хіміко-гальванічній металізації. Нанесення тонкого рівномірного шару провідника на внутрішні стінки отворів забезпечує надійний електричний зв'язок між шарами плати. Цей спосіб виготовлення є технологічно складнішим і дорожчим у порівнянні з одностороннім компонуванням, проте він дозволяє повністю відмовитися від дровових перемичок, забезпечує високу механічну міцність паяних з'єднань, суттєво підвищує надійність виробу та гарантує компактність пристрою.

З метою оптимізації процесу складання та паяння, у приладі реалізовано раціональну схему компонування електронних елементів. Усі основні компоненти, включаючи мікроконтролер ATmega8, операційний підсилювач TL071, дешифратор CD4028, тактові кнопки користувацького інтерфейсу, елементи фільтрації блока живлення та масиви біполярних транзисторних ключів BC557 і BC337, інтегровані на одній стороні плати. На зворотному боці розміщуються лише провідники другого рівня, що дозволяє максимально ефективно використовувати корисний простір корпусу.

Індикаторна світлодіодна матриця формату 10×10, що складається зі 100 елементів діаметром 3 мм, винесена на окремий субмодуль, який електрично з'єднується з основною платою через штирьові з'єднувачі PLS. Це полегшує фіксацію індикаторів на передній панелі та спрощує ремонт виробу. Трасування провідного малюнка виконано відповідно до нормативів третього класу точності:

- Номінальна ширина друкованих доріжок сигнальних ланцюгів становить 0,30 мм, а шин живлення — 0,34 мм;
- Мінімальні відстані між елементами провідного малюнка витримані в межах 0,4–0,6 мм, що гарантує захист від електричного пробоя та усуває паразитні ємнісні зв'язки;

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Діаметри монтажних отворів стандартизовані під виводи компонентів і становлять 0,9 мм для пасивних елементів та світлодіодів, 1,1 мм для мікросхем і кнопок та 1,3 мм для роз'ємів RCA й живлення.

Завдяки застосуванню сучасних інтегральних компонентів і реалізації імпульсного режиму динамічної індикації, у пристрої повністю відсутні елементи з високим рівнем тепловиділення. Лінійний стабілізатор напруги LM7805 працює в полегшеному режимі, оскільки в кожен дискретний момент часу активовано лише один частотний стовпець matrix. Відтак, у конструкції немає потреби в застосуванні масивних металевих радіаторів або активних систем вентиляції, що дозволило зробити корпус пристрою повністю закритим, захистивши електронні компоненти від пилу та вологи.

Електромагнітна сумісність каскадів забезпечується за рахунок топологічного розділення аналогової та цифрової зон плати. Трасування виконано таким чином, щоб знизити взаємний вплив магнітних полів та мінімізувати паразитну ємність між паралельними доріжками, що є критично важливим для стабільної роботи кварцового генератора на 16 МГц та АЦП. Вільна площа мідного фольгування на нижньому шарі плати відведена під суцільний заземлювальний полігон, який виконує роль ефективного екрана.

Активація вертикального каналу. На першому етапі система формує на керуючих лініях відповідну комбінацію сигналів дешифратора, яка відкриває силовий транзисторний ключ конкретного стовпчика світлодіодів.

Комутація горизонтальних ліній. Одночасно з цим аналізується поточний кадр зображення, і на анодні рядки виносної плати через гнучкий шлейф подаються логічні рівні. Це призводить до засвічування обраного сегмента у вигляді поодиноких точок або суцільної вертикальної лінії.

Часове розділення. Час активності кожного стовпчика жорстко обмежений і становить рівно 1200 мікросекунд. Після закінчення цього інтервалу керуючі лінії рядків примусово переводяться у високий стан (для усунення ефекту «примарного» свічення сусідніх діодів), а цикл сканування автоматично переходить до наступного вертикального каналу.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Під час вибору елементної бази для проектування виробу основними критеріями слід вважати наступні вимоги: відповідність номіналів елементів, вказаних в схемі електричній принциповій; наявність елементів на виробництві; технічні вимоги, поставлені до конструкції; економічна вигода; універсальність радіоелементів; стабільність параметрів; мінімальна кількість розмірів корпусів

Таблиця 2.1 – Мікроконтролер ATmega8

Позиційне позначення	DD2
Виробник	ATMEL Corporation
Назва та тип компонента	мікроконтролер ATmega8
Критерії вибору	напруга живлення 5 В; наявність 10-бітного аналого-цифрового перетворювача для обробки аналогових сигналів; достатній обсяг програмної та оперативної пам'яті; доступність та надійність елементної бази.
Параметри конструкції	DIP-28, див. рисунок 2.1
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	4,5–5,5 В
Кількість цифрових входів/виходів	23
Кількість ШІМ-виходів	3
Розрядність АЦП	10 біт
Тактова частота	16 МГц
Температурний діапазон	–40...+85 °С

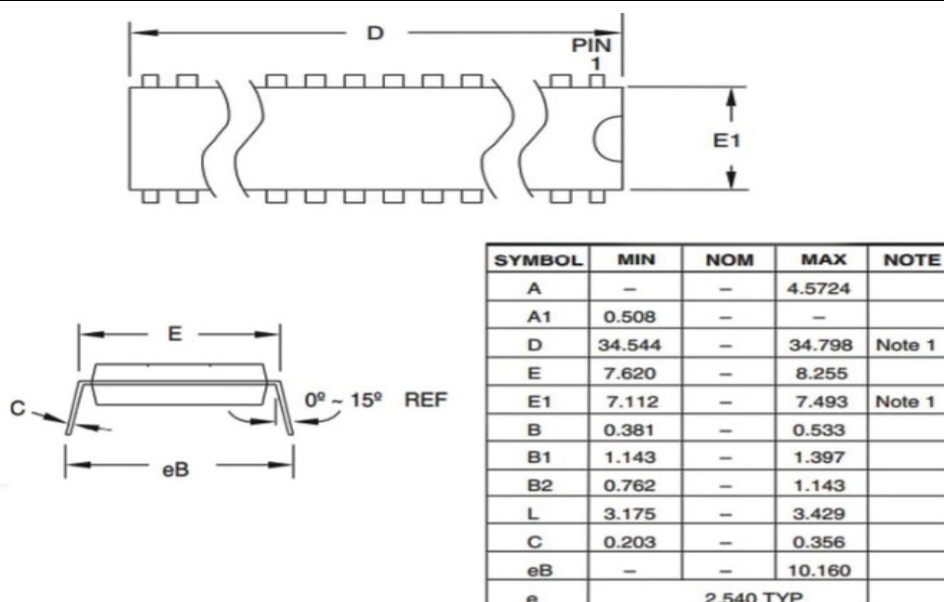


Рисунок 2.1 – Габаритні розміри мікроконтролера Atmega8

Таблиця 2.2 – Операційний підсилювач TL071

Позиційне позначення	DA3
Виробник	Texas Instruments
Назва та тип компонента	операційний підсилювач TL071
Критерії вибору	малий рівень шуму, високий вхідний опір, малий вхідний струм, широкий діапазон напруги живлення, стабільність параметрів
Параметри конструкції	DIP-8, див. рисунок 2.2
Параметри та характеристики	
Напруга живлення	3,5...15 В
Тип ОП	одноканальний операційний підсилювач
Вхідна структура	JFET-входи
Напруга зміщення	до 6 мВ
Температурний діапазон	–40...+85 °С

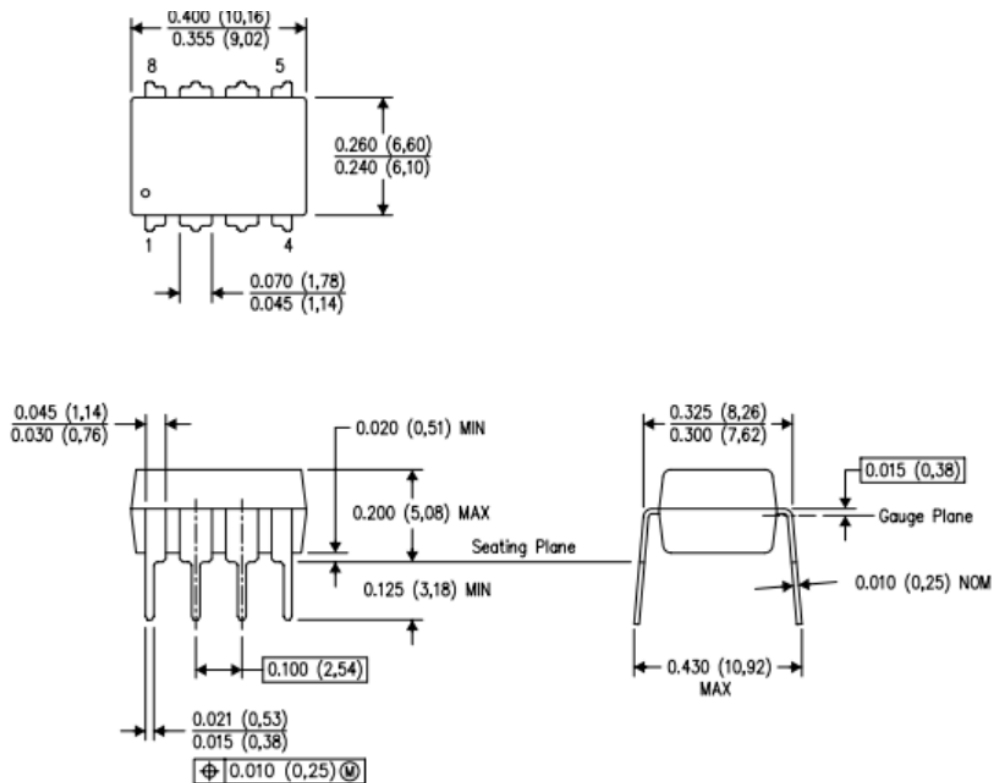


Рисунок 2.2 – Габаритні розміри операційного підсилювача TL071

Таблиця 2.3 – Дешифратор CD4028

Позиційне позначення	DD4
Виробник	Texas Instruments
Назва та тип компонента	BCD–десятковий дешифратор CD4028
Критерії вибору	можливість перетворення BCD-коду у десятковий код, наявність 10 виходів для керування індикаторами, широкий діапазон напруги живлення, низьке споживання струму, сумісність з КМОП логікою
Параметри конструкції	DIP-16, див. рисунок 2.3
Параметри та характеристики	
Логічна технологія	CMOS
Кількість входів	4 (A, B, C, D)
Активний рівень виходів	10 (Q0–Q9)
Діапазон напруги живлення	5...15 В
Напруга живлення	18 В
Температурний діапазон	–40...+85 °С

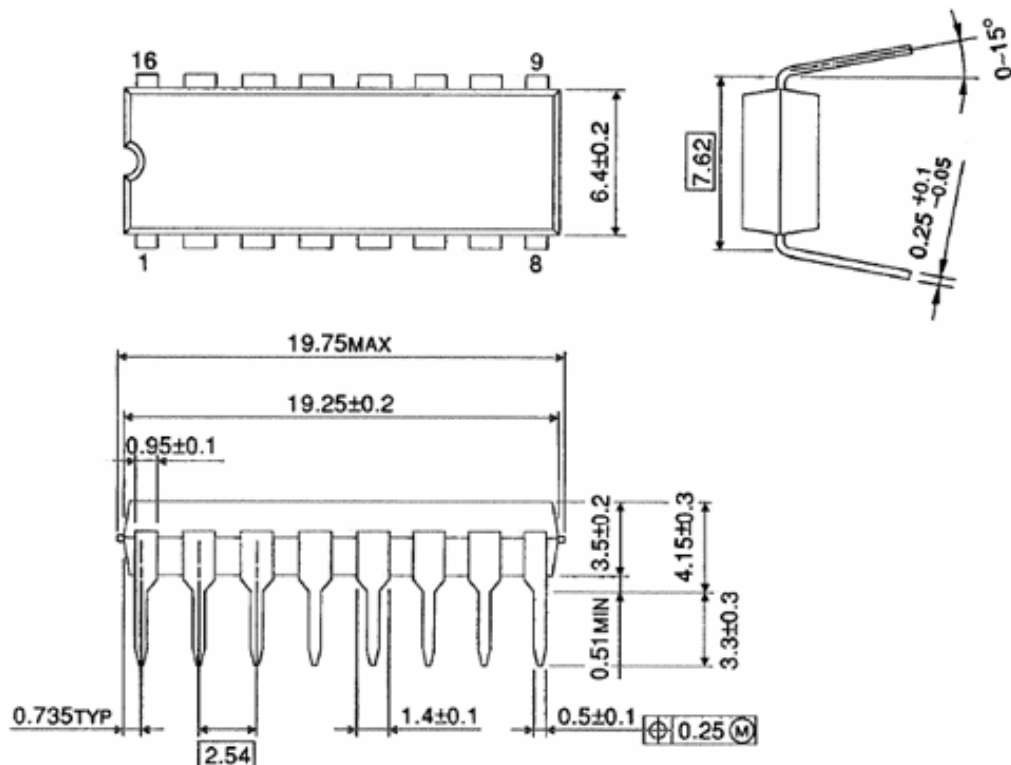


Рисунок 2.3 – Габаритні розміри дешифратора CD4028

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

21

Таблиця 2.4 – Кварцовий резонатор HC-49S

Позиційне позначення	ZQ1
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	Кварцовий резонатор HC-49S
Критерії вибору	Висока стабільність частоти, низький рівень фазових шумів, компактні габарити, широкий робочий температурний діапазон.
Параметри конструкції	Корпус HC-49S , див. рисунок 2.4
Параметри та характеристики	
Ном. частота	16 МГц
Навантажувальна ємність	12 пФ — 20 пФ
Еквівалентний опір	не більше 40 Ом
Температурний діапазон	-40...+85 °C

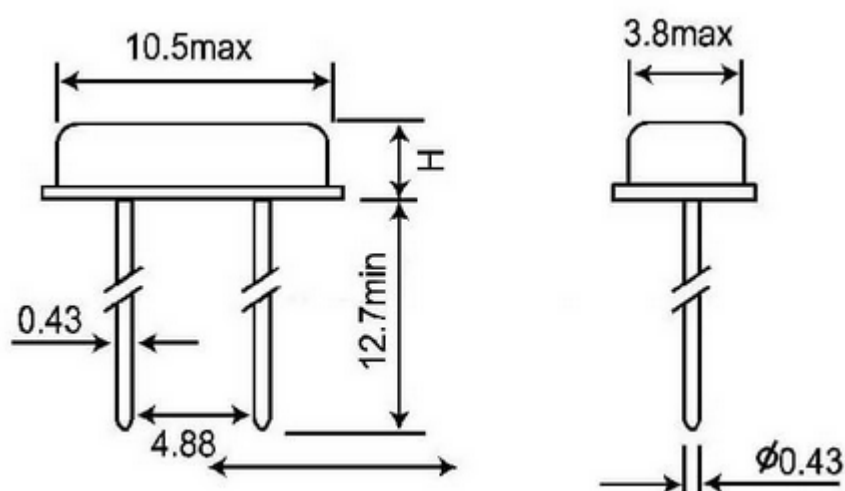


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри кварцового резонатора

Таблиця 2.5 – Стабілізатор напруги LM7805

Позиційне позначення	DA1
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	лінійний стабілізатор напруги LM7805
Критерії вибору	стабілізована вихідна напруга 5 В, простота підключення, наявність внутрішнього захисту від перевантаження та перегріву, можливість роботи при струмі до 1 А
Параметри конструкції	ТО-220, див. рисунок 2.5
Параметри та характеристики	
Ном. вихідна напруга	5 В
Макс. вихідний струм	до 1 А
Макс. вхідна напруга	до 35 В
Мін. різниця $V_{in}-V_{out}$	не менше 2 В.
Внутріш. захист по струму	1,5–2,2 А
Температурний діапазон	0...+125 °С

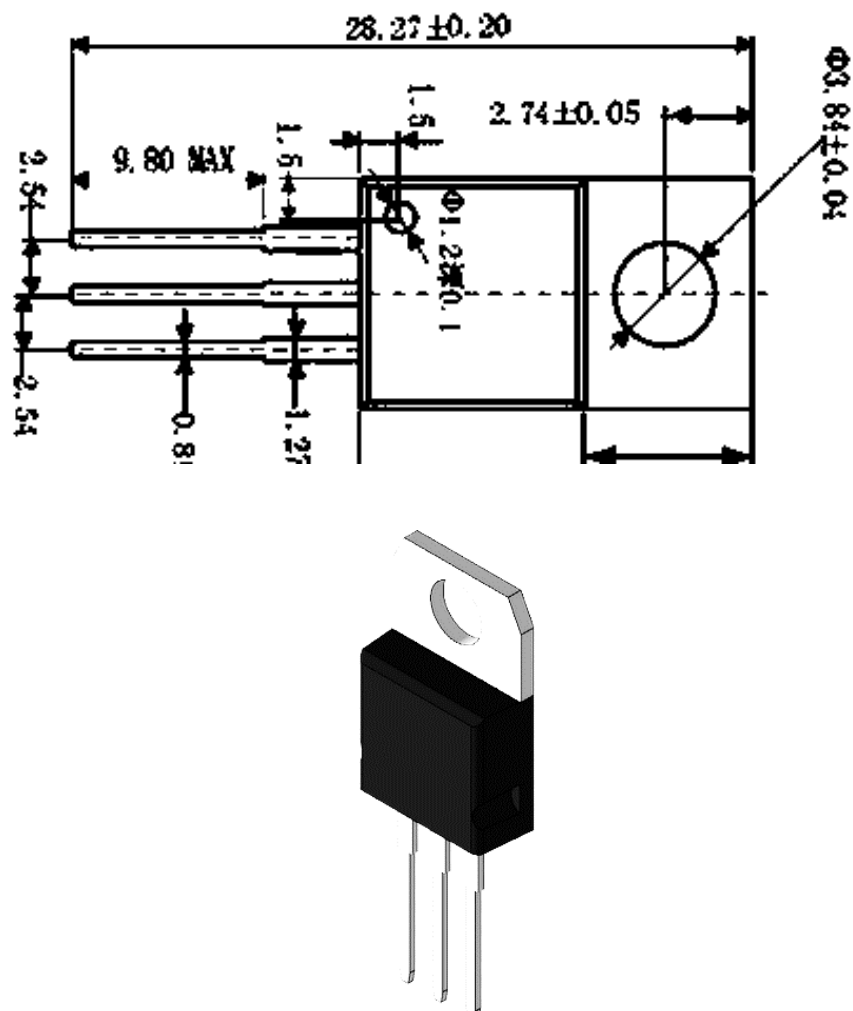
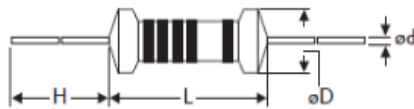


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри стабілізатора напруги LM7805

Таблиця 2.6 – Резистори серії MFP

Позиційне позначення	R1-R29
Виробник	Vishay
Назва та тип компонента	Резистор загального призначення металоплівковий MFP
Критерії вибору	точність номіналу; стабільність опору; потужність розсіювання; осьове виконання
Параметри конструкції	аксіальний корпус 0,25–0,5 Вт див. рисунок 2.6
Параметри та характеристики	
Потужність розсіювання	0,25 – 0,5 Вт
Макс. робоча напруга	до 250 В
Діапазон опорів	1 Ом – 10 МОм
Відхилення від номіналу	±1 %
Темп. коеф. опору	±25 ppm/°C
температурний діапазон	–55 ... +155 °C



Normal	Miniature	L	ψD	H	ψd
MFP-12	MFP25S	3.4 ± 0.3	1.9 ± 0.2	28 ± 2.0	0.56 ± 0.05
MFP204	-	3.4 ± 0.3	1.9 ± 0.2	28 ± 2.0	0.56 ± 0.05
MFP-25	MFP50S	6.3 ± 0.5	2.4 ± 0.2	28 ± 2.0	0.65 ± 0.05
MFP207	-	6.3 ± 0.5	2.4 ± 0.2	28 ± 2.0	0.65 ± 0.05
MFP-50	MFP1WS	9.0 ± 0.5	3.3 ± 0.3	26 ± 2.0	0.65 ± 0.05
MFP100	MFP2WS	11.5 ± 1.0	4.5 ± 0.5	35 ± 2.0	0.8 ± 0.05
MFP200	MFP3WS	15.5 ± 1.0	5.0 ± 0.5	33 ± 2.0	0.8 ± 0.05



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри резистора серії MFP

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

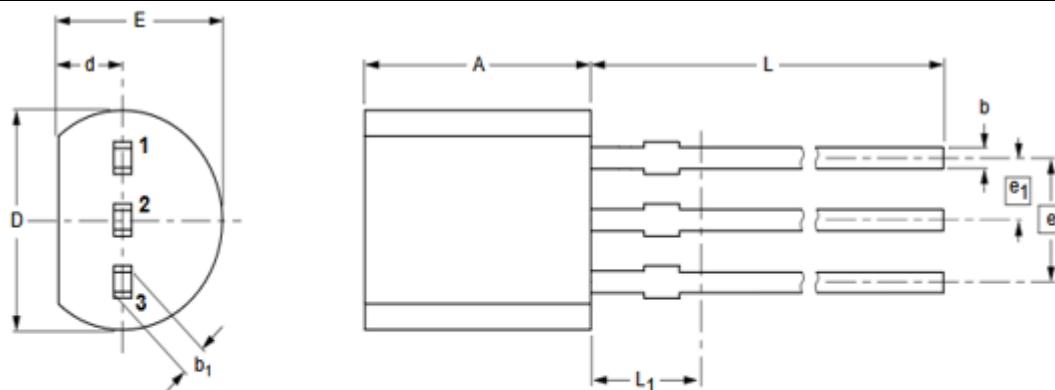
26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

24

Таблиця 2.7 – Транзистори BC557

Позиційне позначення	VT1 – VT10
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	біполярний транзистор загального призначення PNP BC557
Критерії вибору	коефіцієнт підсилення; стабільність параметрів; робота у підсилювальних каскадах
Параметри конструкції	ТО-92 див. рисунок 2.7
Параметри та характеристики	
Максимальна напруга колектор–емітер	45 В
Максимальний струм колектора	100 мА
Потужність розсіювання	500 мВт
Коефіцієнт підсилення струму (hFE)	125 – 800
Напруга насичення колектор–емітер	до 0,65 В
Гранична частота	100 МГц
Температурний діапазон	–55 ... +150 °С



UNIT	A	b	b ₁	c	D	d	E	e	e ₁	L	L ₁ ⁽¹⁾
mm	5.2 5.0	0.48 0.40	0.66 0.56	0.45 0.40	4.8 4.4	1.7 1.4	4.2 3.6	2.54	1.27	14.5 12.7	2.5

Рисунок 2.7 – Габаритні розміри біполярних транзисторів, BC557

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

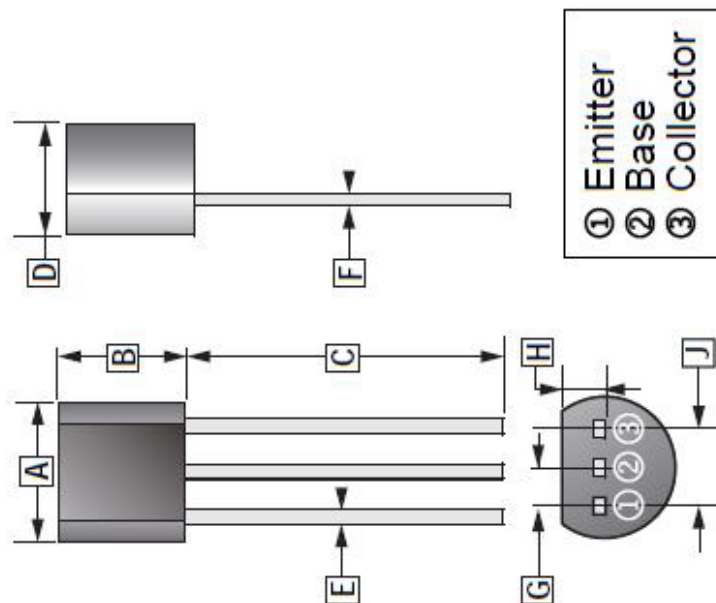
26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

25

Таблиця 2.8 – Транзистори BC337

Позиційне позначення	VT11 – VT20
Виробник	STMicroelectronics
Назва та тип компонента	біполярний транзистор загального призначення NPN BC337
Критерії вибору	допустимий струм колектора; коефіцієнт підсилення; робота в ключовому режимі; доступність
Параметри конструкції	ТО-92 див. рисунок 2.8
Параметри та характеристики	
Максимальна напруга колектор–емітер	45 В
Максимальний струм колектора	800 мА
Потужність розсіювання	625 мВт
Коефіцієнт підсилення струму (hFE)	100 – 600
Напруга насичення колектор–емітер	до 0,7 В
Гранична частота	100 МГц
Температурний діапазон	–55 ... +150 °С



REF.	Millimeter		REF.	Millimeter	
	Min.	Max.		Min.	Max.
A	4.40	4.70	F	0.30	0.51
B	4.30	4.70	G	1.27 TYP.	
C	12.70	-	H	1.10	1.40
D	3.30	3.81	J	2.42	2.66
E	0.36	0.56	K	0.36	0.76

Рисунок 2.8 – Габаритні розміри біполярних транзисторів, BC337

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

26

Таблиця 2.9 – Керамічні конденсатори

Позиційне позначення	C2, C4, C6, C9,
Назва та тип компонента	конденсатор керамічний (або плівковий) загального призначення
Виробник	TDK
Критерії вибору	стабільність параметрів; робота на високих частотах; малий ESR
Параметри конструкції	радіальний корпус див. рисунок 2.9
Параметри та характеристики	
Діапазон ємностей	4.7 nF – 100 nF
Номінальна напруга	16 – 50 В
Допуск	±5...20 %
Температурний діапазон	–55 ... +125 °С

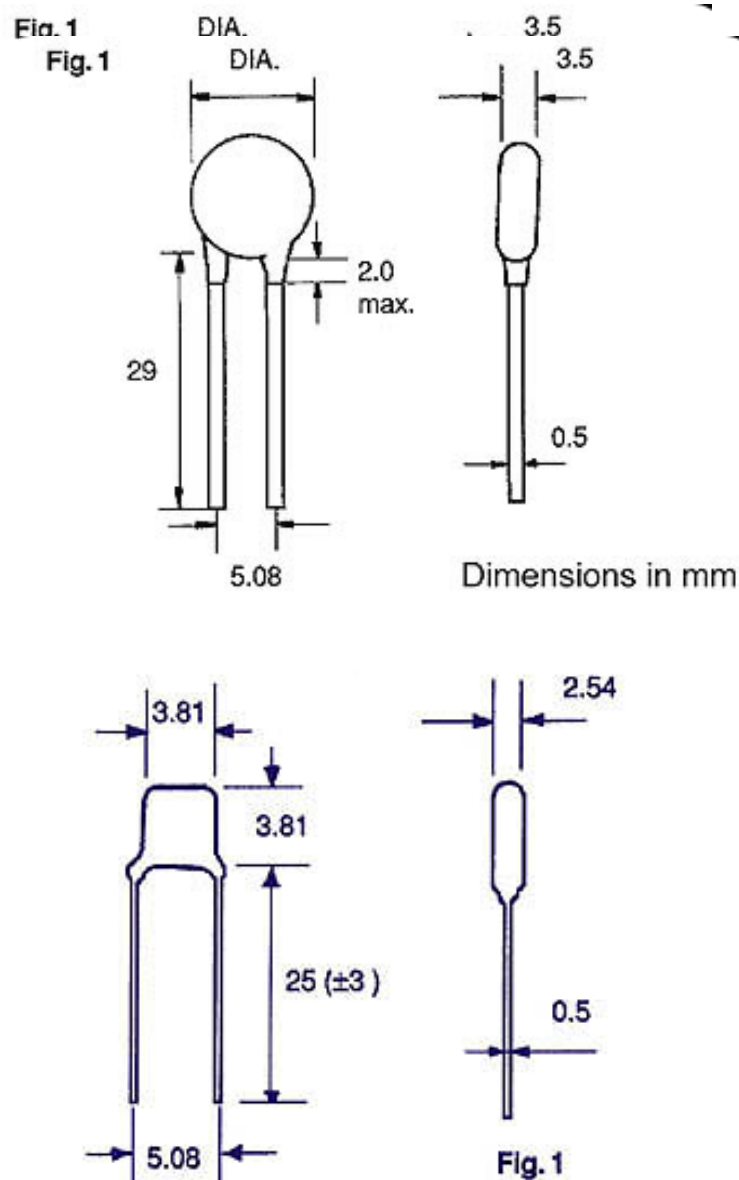


Рисунок 2.9 – Габаритні розміри керамічних конденсаторів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

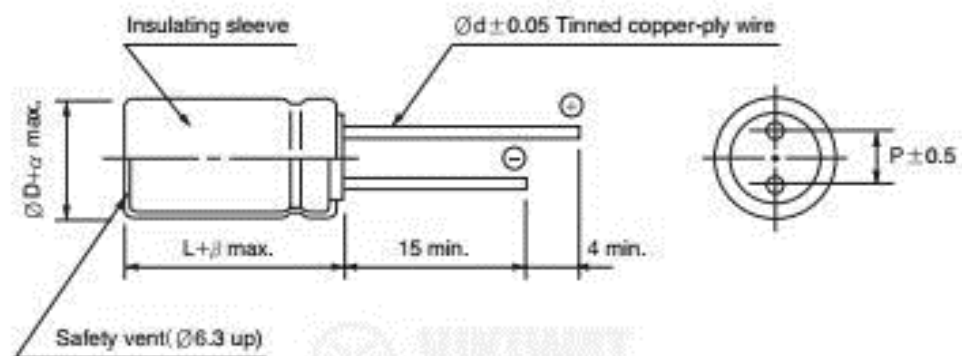
26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

27

Таблиця 2.10 – Електролітичні конденсатори

Позиційне позначення	C1, C3, C5, C8, C10
Назва та тип компонента	алюмінієвий електролітичний конденсатор
Виробник	Panasonic
Критерії вибору	велика ємність; фільтрація пульсацій; допустима напруга
Параметри конструкції	радіальний корпус див. рисунок 2.10
Параметри та характеристики	
Діапазон ємностей	4.7 мкФ – 470 мкФ
Номінальна напруга	6.3 – 16 В
Допуск	±20 %
Температурний діапазон	–55 ... +125 °С



$\varnothing D$	5	6.3	8	10	12.5	16	18	20	22
P	2.0	2.5	3.5	5.0	5.0	7.5	7.5	10.0	10.0
$\varnothing d$	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	1.0
α	0.5							1.0	
β	1.5			2.0				3.0	

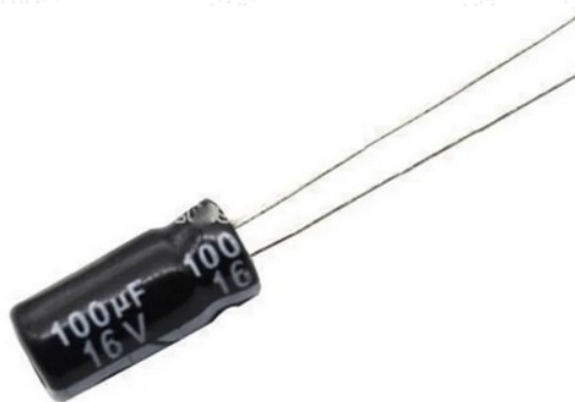


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри електролітичних конденсаторів

Таблиця 2.11 – Діод 1N4148

Позиційне позначення	D1 – D4
Назва та тип компонента	Діод 1N4148
Виробник	Vishay Semiconductor
Критерії вибору	вибір обумовлений необхідністю використання швидкодіючого малосигнального діода для роботи в імпульсних та комутаційних колах; компонент повинен мати малий час відновлення, невелику ємність переходу та достатній запас по зворотній напрузі
Параметри конструкції	DO-35, див. рисунок 2.11
Параметри та характеристики	
Тип діода	Кремнієвий швидкодіючий
Макс. зворотна напруга	100 В
Макс. прямий струм	150 мА
Макс. імпульсний струм	450 мА
Пряме падіння напруги	0,7–1 В
Час зворот. відновлення	4 нс
Макс. пот. розсіювання	500 мВт
Температурний діапазон	–65...+150 °С

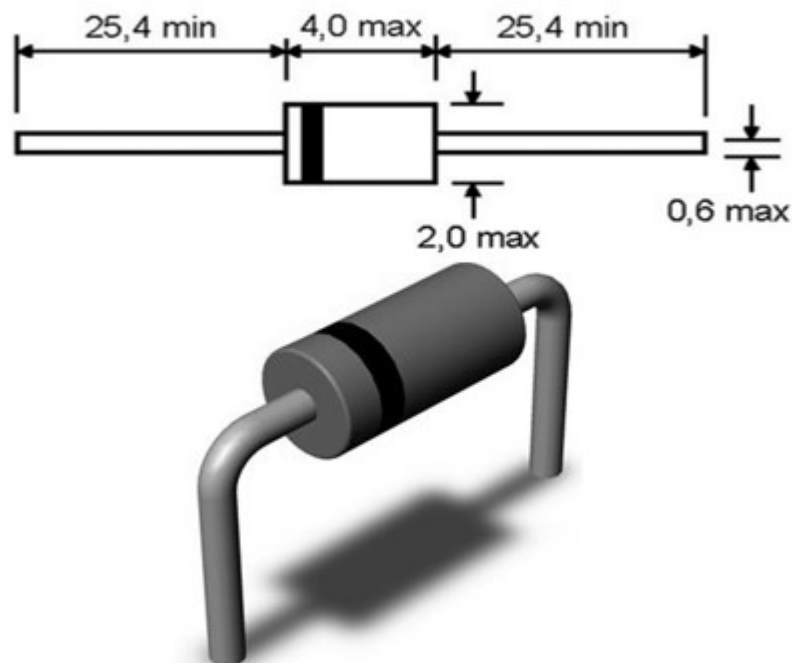


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри діода 1N4148

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

29

Таблиця 2.12 – Тактова кнопка 6×6 мм

Позиційне позначення	SB1 – SB2
Назва та тип компонента	Тактова кнопка 6×6 мм
Виробник	Omron
Критерії вибору	вибір обумовлений необхідністю використання компактного кнопкового перемикача для ручного керування роботою пристрою; кнопка повинна мати нормально розімкнені контакти, невеликі габарити та забезпечувати надійне короткочасне замикання кола при натисканні
Параметри конструкції	тактова кнопка для монтажу на друкованій платі, корпус 6×6 мм, див. рисунок 2.12
Параметри та характеристики	
Ресурс натискань	до 100 000 спрацювань
Номинальна напруга	до 12 В
Номинальний струм	до 50 мА
Температурний діапазон	–25...+70 °С

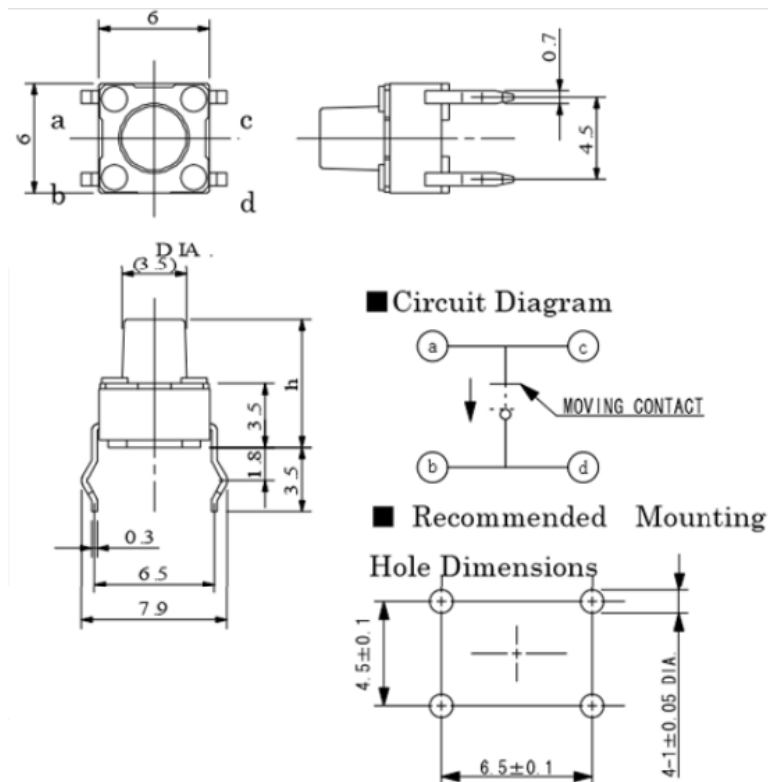


Рисунок 2.12 – Габаритні розміри кнопки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

30

Таблиця 2.13 – Світлодіод LED 3 мм

Позиційне позначення	HL1 – HL101
Назва та тип компонента	Світлодіод індикаторний LED 3 мм
Виробник	Kingbright
Критерії вибору	використовується для формування світлодіодної матриці 10×10 та забезпечення візуальної індикації. Компонент обрано через достатню яскравість, мале енергоспоживання, простоту керування та тривалий ресурс роботи.
Параметри конструкції	корпус ТНТ, діаметр 3 мм, радіальні виводи, див. рисунок 2.13
Параметри та характеристики	
Макс. прямий струм	до 30 мА
Пряме падіння напруги	1,8–2,2 В (червоний, жовтий, зелений)
Кут випромінювання	20–60°
Макс. пот. розсіювання	до 100 мВт
Температурний діапазон	–40...+85 °С

Package Dimensions

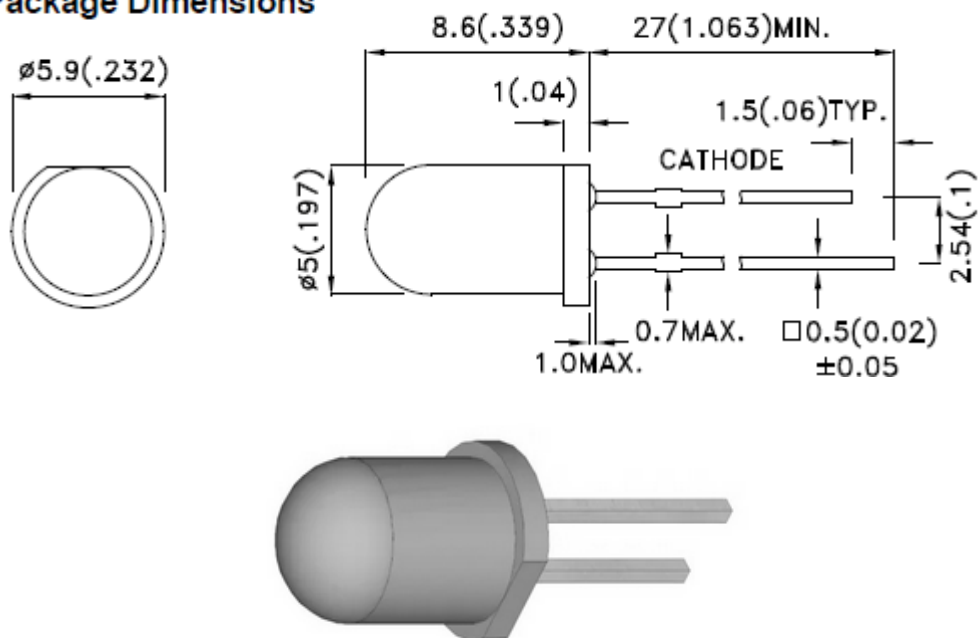


Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд та габаритні розміри світлодіода 3мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

31

Таблиця 2.14 – Роз’єм RCA

Позиційне позначення	XS1
Назва та тип компонента	Роз’єм RCA KLPX-0848A-2-Y
Виробник	Кусон
Критерії вибору	роз’єм використовується для підключення зовнішнього аудіосигналу до пристрою; обраний через стандартний інтерфейс RCA, простоту монтажу на друкованій платі та достатню механічну надійність з’єднання
Параметри конструкції	роз’єм RCA для монтажу на друковану плату, кутове виконання) , див. рисунок 2.14
Параметри та характеристики	
Тип роз’єму	RCA , гніздо
Кількість контактів	2
Тип сигналу	моно
Тип монтажу	ТНТ, монтаж у друковану плату
Ресурс з’єднань	до 5000 циклів
Робоча температура	-25...+80 °С

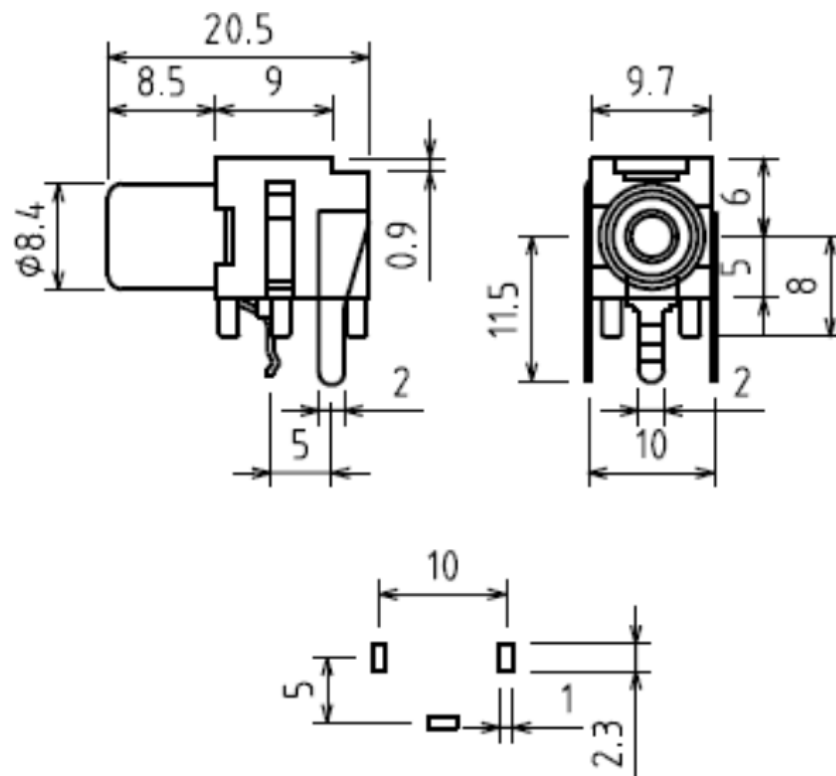


Рисунок 2.14 – Габаритні розміри роз’єму RCA

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

32

Таблиця 2.15 – Роз’єм живлення DC power jack

Позиційне позначення	XS2
Назва та тип компонента	Роз’єм живлення DC Power Jack DC-005
Виробник	Chinadaier
Критерії вибору	використовується для підключення зовнішнього джерела живлення постійного струму до пристрою; обраний через поширений стандарт роз’єму 5.5×2.1 мм, простоту монтажу на друкованій платі та надійне електричне з’єднання
Параметри конструкції	роз’єм живлення типу Barrel Jack, монтаж на друковану плату (THT), див. рис.2.15
Параметри та характеристики	
Стандарт штекера	5.5 мм × 2.1 мм
Номінальна напруга	до 30 В DC
Номінальний струм	до 3 А
Робоча температура	−30...+70 °С

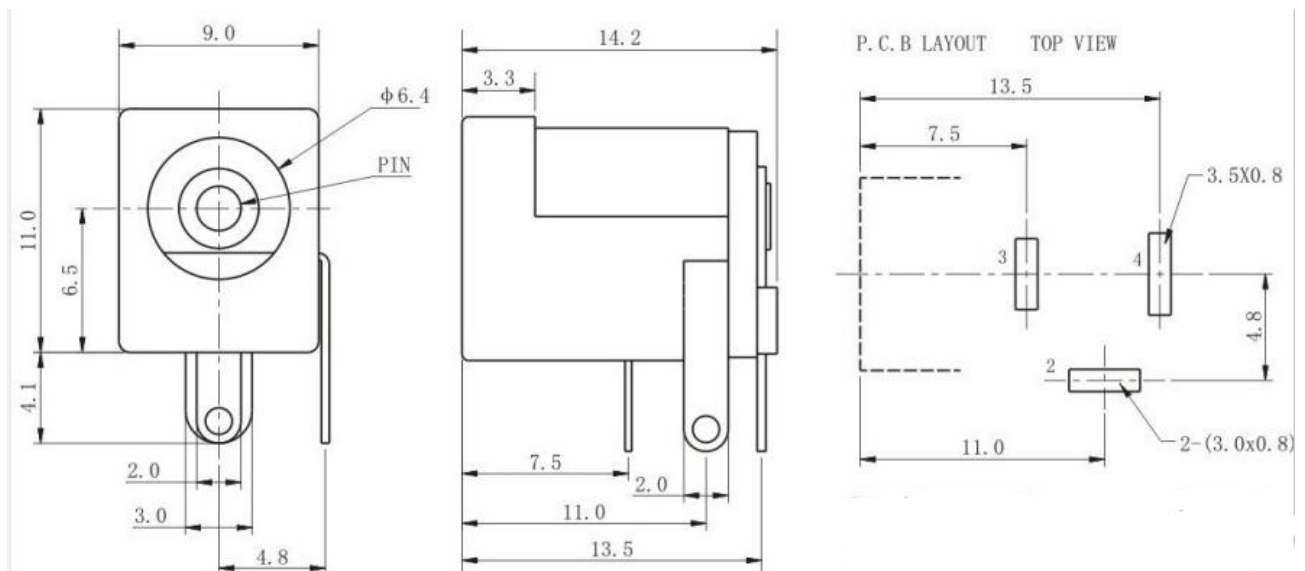


Рисунок 2.15 – Габаритні розміри роз’єму живлення DC power jack

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

33

Таблиця 2.16 – З'єднувач PLS

Позиційне позначення	XP3- XP10
Назва та тип компонента	Штирьовий з'єднувач PLS
Виробник	Fischer Elektronik
Критерії вибору	обраний для зручного з'єднання друкованої плати з іншими модулями або провідниками; основними критеріями вибору є стандартний крок контактів 2,54 мм, вертикальне розташування штирів та простота монтажу на друковану плату
Параметри конструкції	однорядний штирьовий роз'єм для монтажу на плату (ТНТ), див. рисунок 2.16
Параметри та характеристики	
Крок контактів	2,54 мм
Кількість рядів	1
Кількість контактів	до 40
Максимальний струм	до 1–3 А на контакт
Робоча температура	–40...+105 °С

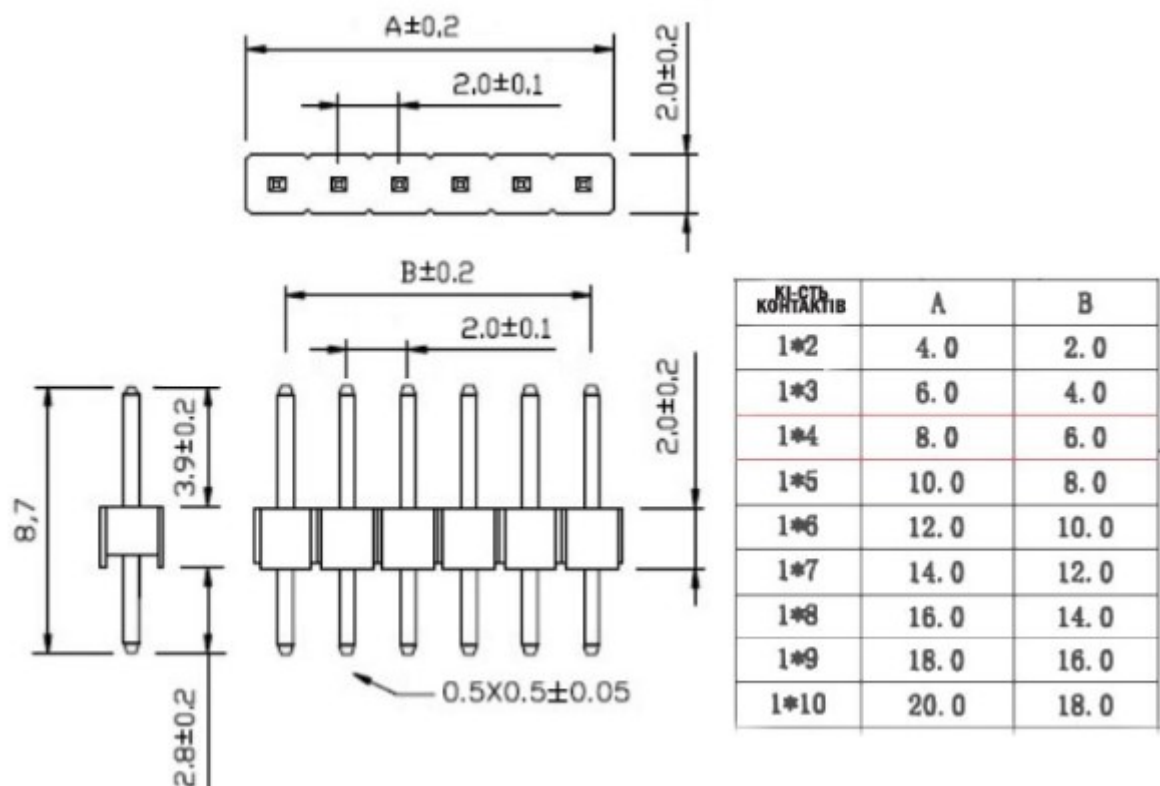


Рисунок 2.16 – Габаритні розміри з'єднувача PLS

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

34

2.1.4 Опис програми мікроконтролера

Програма мікроконтролера аналізатора спектра написана мовою C++ з використанням низькорівневого керування апаратними регістрами мікроконтролера ATmega8. Головні завдання програми — покрокове оцифрування аналогового аудіосигналу за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП), обчислення амплітуд частотних смуг за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є та виведення результату через міжплатний гнучкий шлейф на виносну друковану плату світлодіодної матриці 10 x 10 за допомогою покрокової динамічної індикації.

Програмна логіка виконується строго послідовно і розділена на кілька ключових етапів.

1. Блок ініціалізації та конфігурації периферії

При подачі живлення або скиданні мікроконтролера одноразово запускається блок ініціалізації, який конфігурує внутрішні регістри та напрямки роботи портів введення-виведення мікроконтролера ATmega8, розташованого на головній платі керування:

- Конфігурація цифрових виходів: Лінії керування дешифратором CD4028 (виводи порту PD2, PD3, PD4, PD5) та 10 ліній керування анодними рядками виносної плати матриці (виводи PC3, PD7, PB0, PB1, PB2, PB3, PB4, PC0, PC1, PD6) переводяться в режим виходу шляхом запису логічних одиниць у відповідні регістри напрямку даних DDRB, DDRC та DDRD.

- Початкове закриття ключів: На всі 10 ліній рядків через регістри PORT подається високий логічний поріг. Оскільки на головній платі використовуються транзистори PNP типу, високий рівень надійно замикає їх, повністю гасячи виносну матрицю при старті пристрою для запобігання стрибкам струму.

- Конфігурація інтерфейсу користувача: Лінії тактових кнопок PB5 (режими) та PD0 (чутливість) конфігуруються як входи із активацією внутрішньої підтяжки до шини живлення +5 В, що дозволяє підключати їх напряму до загального проводу.

- Математичний розрахунок таймінгів: Обчислюється точний період у мікросекундах між аналоговими вибірками звуку на основі заданої частоти дискретизації АЦП.

2. Блок опитування кнопок та обробки подвійного натискання . На початку кожного робочого циклу програма перевіряє стан входів кнопок керування за допомогою цифрових таймерів, які відсікають апаратний брязкіт контактів :

- Кнопка чутливості (PD0): Алгоритм відстежує час між натисканнями. Одиночний швидкий клік підвищує чутливість, а подвійний швидкий натиск з інтервалом менше 350 мс — зменшує її. Програма плавно змінює внутрішню межу масштабування сигналу maxGain.

- Кнопка режимів (PB5): Одиночний клік циклічно змінює прапорець displayMode від 0 до 3 (вибір одного з 4 візуальних ефектів). Подвійне натискання змінює коефіцієнти інерції затухання стовпчиків (швидко, середня плавність, ефект желе).

- Активація сервісного меню: При натисканні будь-якої кнопки програма перериває режим еквалайзера на 600 мілісекунд, щоб вивести на матрицю візуальну шкалу поточного налаштування (горизонтальну лінію або індикатор ступеня).

3. Блок захищеного збору аудіосемплів

Для виключення апаратних наведень на звуковий тракт під час роботи динамічної розгортки виносної плати матриці застосовано метод часового розділення:

- Перед початком вимірювання мікроконтролер примусово гасить усі світлодіоди матриці та виставляє на входах дешифратора нульовий код. Програма робить мікропаузу 50 мкс для повної стабілізації напруги живлення операційного підсилювача TL071, який підсилює сигнал до АЦП.

- Далі запускається жорсткий таймінової цикл, який через вбудований модуль АЦП (аналоговий вхід PC2) зчитує 64 послідовні точки амплітуди звукової хвилі.

- Кожен замір робиться строго через розраховані проміжки часу, фіксуючи миттєві значення звукового сигналу в робочий масив.

4. Математична обробка сигналу

Отриманий масив даних передається алгоритмам швидкого перетворення Фур'є:

- Очищення від постійної складової. Програма обчислює середнє арифметичне значення напруги всього масиву і віднімає його з кожної точки. Це центрує аудіохвилю відносно математичного нуля, прибираючи постійне зміщення операційного підсилювача.

- Віконне перетворення: Застосовується вікно Хеммінга, яке згладжує краї вибірки та усуває ефект розтікання спектра.

- Обчислення спектра: Математичні функції перетворюють часову діаграму хвилі у частотну. На виході ми отримуємо чисті значення амплітуд для 32 частотних смуг.

- Логарифмічне групування частот: Оскільки людське вухо сприймає звук логарифмічно, 32 математичні смуги групуються в 10 кінцевих стовпчиків частот. Перші стовпчики зчитують одиничні низькі біни (баси), а наступні — об'єднують та усереднюють групи з кількох бінів для відображення спектра звукового сигналу.

5. Блок фільтрації, інерції та розрахунку піків (Алгоритм Гайвера)

Щоб стовпчики не смикалися хаотично від цифрового шуму, застосовано алгоритм згладжування:

- Нова отримана амплітуда частоти порівнюється з попередньою. Якщо звук гучніший — стовпчик швидко збільшує висоту. Якщо звук затихає — у дію вступає експоненціальний фільтр, який змушує стовпчик опускатися вниз плавно, створюючи ефект аналогової важкості індикатора. Цей математичний підхід дозволяє повністю нівелювати різке високочастотне тремтіння світлодіодних сегментів у моменти різкої зміни звукових планів.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розрахунок пікових точок: Програма фіксує максимальне значення кожного стовпчика, записує його в масив піків і запускає таймер утримання. Поки триває відлік таймера, піковий індикатор утримується у верхньому положенні. Коли час минає, крапка під алгоритмом плавного зниження починає самостійно летіти донизу. Для забезпечення незалежної роботи кожного з десяти частотних каналів, усі змінні таймерів та координат винесені в окремі комірки пам'яті відповідних масивів.

6. Блок динамічної індикації та дзеркального виведення

Останній етап — фізичне відображення сформованого кадру через міжплатний інтерфейс на друкованій платі світлодіодної матриці:

- Програма запускає цикл розгортки від 0 до 9 стовпчика.
- Оскільки через особливості апаратної реалізації порядок відображення частот інвертований, програма бере дані частот з масиву у зворотному порядку за формулою $9 - col$, що розвертає бази в ліву частину виносної плати, а високі частоти — в праву.

- Мікроконтролер виставляє відповідний двійковий код на виводи порту PD2–PD5, пов'язані з дешифратором CD4028, який фізично відкриває транзисторний ключ потрібного вертикального стовпчика світлодіодів.

- Одночасно з цим внутрішній цикл перевіряє поточний режим відображення та виставляє логічні нулі на лінії портів PORTB, PORTC та PORTD, які через гнучкий шлейф керують анодними рядками виносної плати, що мають засвітитися в цьому стовпчику (формуючи суцільний стовпчик або поодинокі точки).

- Кожен стовпчик світиться рівно 1200 мікросекунд, після чого рядки примусово гасяться в HIGH (для запобігання паразитних шлейфів при перемиканні), і цикл розгортки переходить до наступного стовпчика.

Завдяки високій швидкості виконання, людське око не помічає покрокового перемикання стовпчиків, бачачи на виносній матриці цілісну, плавну та динамічну картинку спектра звуку.

2.1.5 Опис конструкції друкованої плати

Друкована плата аналізатора спектра є основним конструктивним елементом, що забезпечує механічне кріплення радіoeлектронних компонентів та електричний зв'язок між ними. Вона розроблена відповідно до нормативів третього класу точності на основі двостороннього фольгованого склотекстоліту марки СФ-2-35-ІКП товщиною 1,5 мм.

Для фіксації плати всередині пластмасового корпусу на монтажних стійках по кутах передбачено чотири отвори діаметром 3,2 мм під гвинти М3. По всьому периметру витримано технологічний зазор шириною 1,5 мм, вільний від елементів провідного малюнка, що запобігає пошкодженню доріжок при механічній обробці контуру.

Топологія друкованої плати розділена на два робочі шари: верхній (сторона встановлення компонентів) та нижній (сторона паяння). Таке дворівневе розведення дозволило компактно розташувати всі елементи та оптимізувати довжину зв'язків між мікроконтролером і матрицею. Міжшарові переходи реалізовані через наскрізні монтажні отвори з хіміко-гальванічною металізацією міддю товщиною 25 мкм, що гарантує високу механічну міцність і стабільний електричний контакт.

Конструктивні параметри елементів провідного малюнка мають такі характеристики:

- Друковані провідники: Ширина сигнальних доріжок становить 0,30 мм, а шин живлення +5 В та заземлення збільшена до 0,34 мм для зниження активного опору та запобігання падінню напруги при імпульсній роботі світлодіодної матриці.
- Ізоляційні зазори: Мінімальна відстань між сусідніми доріжками, а також між провідниками та контактними площадками витримана в межах 0,4–0,6 мм для усунення паразитних ємнісних зв'язків та захисту від електричного пробою.
- Контактні площадки та отвори: Діаметри монтажних отворів становлять 0,9 мм (площадка 1,8 мм) для резисторів, конденсаторів,

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діодів 1N4148 та транзисторів BC337/BC557; 1,1 мм (площадка 2,0 мм) для мікросхем ATmega8 та CD4028; 1,3 мм (площадка 2,4 мм) для роз'ємів RCA, живлення DC та стабілізатора LM7805.

Для захисту від корозії, окиснення та атмосферної вологи в процесі тривалої експлуатації вся поверхня плати, крім контактних площадок, покрита епоксидною паяльною маскою зеленого кольору. Маска також запобігає розтіканню припою під час монтажу.

Відкриті контактні площадки піддані гальванічному лудінню припоєм олово-свинець для покращення змочуваності при паянні. На верхній шар плати методом шовкографії нанесено біле технологічне маркування позиційних значень компонентів відповідно до електричної принципової схеми, що значно спрощує збирання та контроль якості.

Конструктивно пристрій від самого початку спроектовано на базі двох роздільних плат: головної плати керування з мікроконтролером ATmega8 та вихідної плати світлодіодної матриці індикації 10 x 10. Електричне сполучення між модулями реалізовано за допомогою багатожильного гнучкого шлейфу, що суттєво спростило компонування елементів усередині корпусу. Таке просторове розділення силової частини екрана та чутливого аналогового входу АЦП дозволило ефективно захистити вимірювальні кола від імпульсних наведень та перешкод динамічної розгортки. Використання двох незалежних друкованих вузлів забезпечує пристрою високу механічну тривкість, надійність в експлуатації, а також відмінну ремонтпридатність і зручність приладової діагностики. Додатково таке конструктивне рішення дало змогу винести масивний світлодіодний індикатор безпосередньо на передню панель корпусу без ризику зміщення елементів основної схеми підсилення. Завдяки оптимізації топологічних ліній обох модулів було досягнуто мінімального рівня паразитних наведень, що гарантує високу лінійність вимірювань у всьому частотному спектрі пристрою.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.6 Розрахунок надійності проєктованого пристрою

У даному розділі проведено прогнозування надійності проєктованого світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу за раптовими експлуатаційними відмовами. Розрахунок виконано з використанням спеціалізованого програмного забезпечення «Mathcad».

У таблиці 2.17 наведено зведені показники надійності для основних груп радіоелементів аналізатора (мікроконтролера, світлодіодних матриць, операційних підсилювачів та пасивних компонентів), враховуючи їх кількість у схемі.

Таблиця 2.17 – Вхідні дані для розрахунку надійності

№ з/п	Назва групи радіоелементів	К-сть, шт.	Кпопр	Івідм * 10^{-6} 1/год	К-сть*Кпопр *Івідм* 10^{-6}
1	Напівпровідникові інтегральні мікросхеми	4	1	0.03	0.03
2	Резистори постійні 0.125 - 0.5 Вт	20	0.42	0.8	11.76
3	Біполярні кремнієві транзистори	20	0.35	0.5	1.05
4	Кварцові резонатори	1	1	0.5	0.5
5	Конденсатори керамічні	4	0.1	1.4	2.8
6	Конденсатори електrolітичні	6	0.4	2.4	14.4
7	Імпульсні кремнієві діоди	4	0.35	0.2	0.28
8	Світлодіоди	100	1	4	80
9	Кнопки	2	1	0.5	1
10	Гніздо RCA	1	1	0.02	0.16
11	Гніздо DC 12В	1	1	0.02	0.16
12	З'єднувач PLS	2	1	0.02	0.16

Розрахунок надійності проектного виробу було розраховано в програмі Mathcad 15 .

$$\begin{aligned}
 K_e &:= 1 && \text{Коефіцієнт експлуатації} \\
 \lambda_1 &:= 0.03 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_2 &:= 11.76 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_3 &:= 1.03 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_4 &:= 0.5 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_5 &:= 2.8 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_6 &:= 14.4 \cdot 10^{-6} && \text{Інтенсивності відмов груп компонентів} \\
 \lambda_7 &:= 0.28 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_8 &:= 80 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_9 &:= 1 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_{10} &:= 0.16 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_{11} &:= 0.16 \cdot 10^{-6} \\
 \lambda_{12} &:= 0.16 \cdot 10^{-6} \\
 \Lambda &:= K_e \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12}) && \text{Сумарна інтенсивність відмов пристрою} \\
 \Lambda &= 1.123 \times 10^{-4} \\
 T_{\text{ср}} &:= \frac{1}{\Lambda} && \text{Середнє напрацювання до відмови} \\
 T_{\text{ср}} &= 8.906 \times 10^3 \\
 t &:= 0, 100 \dots 50000 \\
 P(t) &:= e^{-\Lambda \cdot t} && \text{Ймовірність безвідмовної роботи}
 \end{aligned}$$

Рисунок 2.17 – Розрахунок в Mathcad 15

В результаті розрахунку отримано графік залежності імовірності безвідмовної роботи проектного аналізатора спектра від часу роботи, представлений на рисунку 2.18 Розрахункове значення середнього напрацювання до відмови склало 8906 год

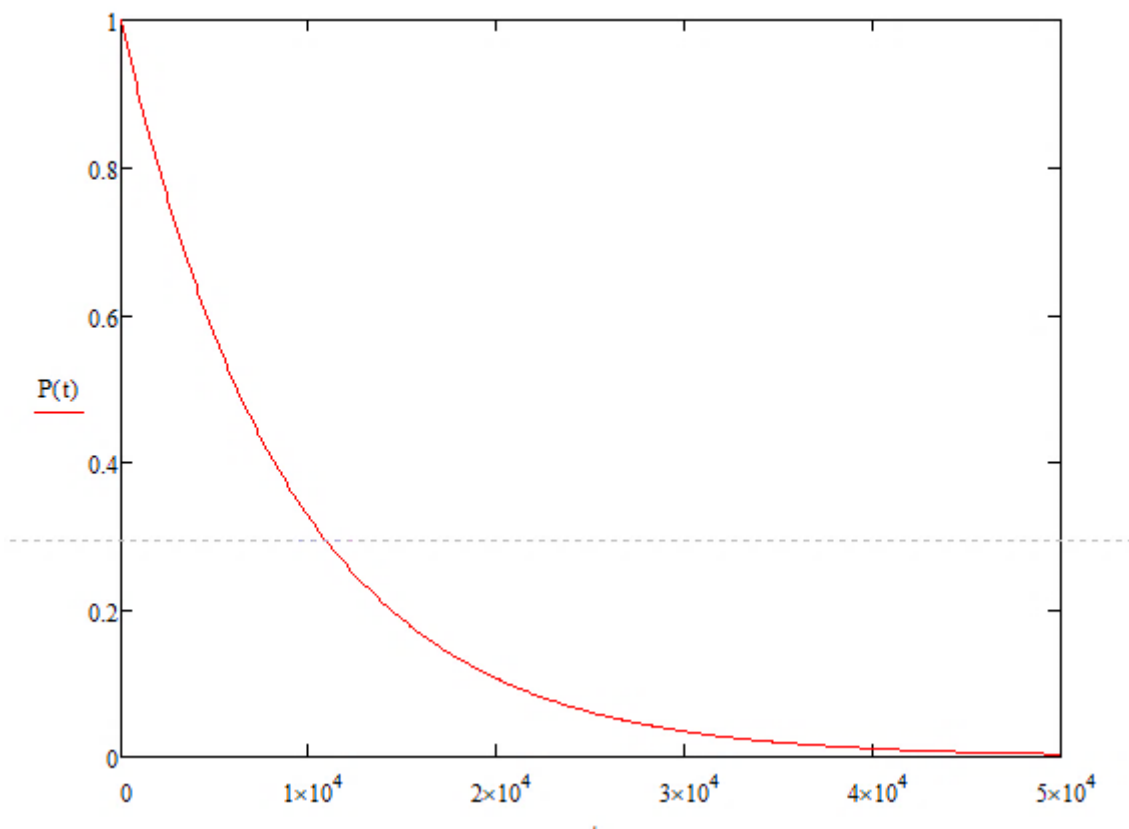


Рисунок 2.18 – результат розрахунку в Mathcad 15

Результати розрахунку надійності світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу:

Інтенсивність відмов: 0.00011231 1/год

Середнє напрацювання до відмови: 8906 год.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$:

$t = 10$ год.	$P(t) = 0.998878$
$t = 100$ год.	$P(t) = 0.988832$
$t = 1000$ год.	$P(t) = 0.893767$
$t = 10000$ год.	$P(t) = 0.325266$
$t = 100000$ год.	$P(t) = 0.00013$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

43

2.1.7 Техніко-економічний аналіз конструкції виробу

Техніко-економічний аналіз розроблюваної конструкції десятисмугового аналізатора спектра звукового сигналу підтверджує раціональність обраних схемотехнічних рішень. Використання мікроконтролера ATmega8 дозволило перенести функції обробки сигналу в програмне забезпечення та відмовитися від апаратних генераторів і змішувачів. Заміна аналогового розділення частот цифровим алгоритмом Фур'є дала змогу відмовитися від громіздких аналогових смугових фільтрів на операційних підсилювачах, що суттєво знизило матеріаломісткість пристрою, спростило трасування екрана та зменшило прямі витрати на закупівлю елементної бази.

Конструкція основного друкованого вузла на основі двостороннього склотекстоліту марки СФ-2-35-ІКП товщиною 1,5 мм забезпечує необхідну жорсткість без використання дорогих багатошарових плат, мінімізуючи ризик деформації при механічних навантаженнях. Проектування за третім класом точності дозволило встановити оптимальні параметри: ширину сигнальних провідників 0,30 мм, шин живлення 0,34 мм та ізоляційні бокові зазори від 0,6 мм до 0,8 мм. Такі габарити доріжок гарантують стійкість до завад і не висувають надлишкових вимог до прецизійності обладнання при хімічному травленні, підвищуючи відсоток виходу придатних плат. Додаткове екранування аналогової частини вхідного каскаду земляним контуром знижує вплив цифрових шумів.

Використання компонентів у вивідних корпусах спрощує монтаж і дозволяє застосовувати високоефективне паяння хвилею, що знижує трудомісткість складання в умовах серійного виробництва. Винесення світлодіодної матриці на окремий субмодуль підвищує ремонтпридатність виробу, оскільки заміна окремих світлодіодів не потребує демонтажу обчислювальної плати. З'єднання між платами за допомогою шлейфу та роз'ємів забезпечує високу вібростійкість та швидкість вузлового складання. Завдяки імпульсному режиму динамічної індикації, середнє споживання струму залишається мінімальним, що виключає потребу у встановленні додаткових радіаторів охолодження для стабілізатора LM7805.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Технологічна частина

2.2.1 Загальні відомості про складання і монтаж проектованого виробу. Вибір типу технології

Процес складання та монтажу десятизмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу є сукупністю операцій, які забезпечують точне розташування, закріплення та надійне електричне з'єднання елементів у єдину конструкцію. Якість виконання цих кроків прямо впливає на працездатність, завадостійкість та безвідмовність пристрою.

Конструкція виробу має модульну структуру і включає захисний пластмасовий корпус, головну плату обробки сигналів на базі мікроконтролера ATmega8, плату світлодіодної матриці, кнопки керування та роз'єми. Це дозволяє розділити виробництво на паралельні стадії складання, що знижує трудомісткість та полегшує автоматизацію в умовах серійного випуску радіоелектронної апаратури.

Під час проектування було здійснено вибір типу технології монтажу. Для встановлення великих та вивідних компонентів (конденсатори, роз'єми, кнопки) обрано технологію монтажу в отвори. Для мініатюризації плати та підвищення завадостійкості цифрових ліній для решти елементів (транзистори, резистори) застосовано поверхневий монтаж. Оскільки плата поєднує обидва методи, загальним типом технологічного процесу визначено комбінований монтаж.

Технологічний процес створення аналізатора складається з таких етапів:

1. Вхідний контроль комплектуючих: Перевірка параметрів мікросхем, транзисторів, резисторів, конденсаторів та світлодіодів на відповідність технічним умовам проекту.
2. Підготовка елементів: Прошивка мікроконтролера ATmega8, очищення виводів від оксидів, їх формування та підрізання під крок посадкових місць плати.
3. Електромонтажні роботи: Послідовний комбінований монтаж радіодеталей на двосторонню друковану плату зі склотекстоліту СФ-2-35.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Очищення та контроль якості: Промивання плати у спирто-бензиновій суміші для видалення флюсу, візуальний контроль паяння під мікроскопом та перевірка на відсутність замикань.

5. Механічне складання: Фіксація плати обробки у пластмасовому корпусі гвинтами, монтаж субмодуля світлодіодної матриці 10×10 на передній панелі, з'єднання вузлів та закриття корпусу кришкою.

6. Фінішний функціональний контроль: Підключення виробу до джерела живлення +12 В та проведення електричних випробувань шляхом подачі тестового аудіосигналу для перевірки візуалізації спектра.

2.2.2 Якісна оцінка технологічності конструкції

Якісна оцінка технологічності конструкції десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу дозволяє визначити, наскільки ефективно обрані конструктивні та схемотехнічні рішення адаптовані до умов промислового виробництва. Основна мета аналізу полягає у підтвердженні того, що пристрій може бути виготовлений із мінімальними витратами матеріалів, часу та праці, забезпечуючи при цьому стабільно високу якість і безвідмовність у процесі експлуатації.

Конструктивно-технологічні переваги виробу

Аналіз конструкції аналізатора спектра дозволяє виділити такі чинники, що свідчать про її високий рівень технологічності:

Модульний принцип побудови: Конструкція виробу раціонально розділена на три самостійні модулі: пластмасовий корпус, головну обчислювальну плату та окремий планарний субмодуль матриці 10×10.

Така архітектура дає змогу вести паралельне незалежне складання і тестування кожного вузла, значно скорочуючи загальний час виробничого циклу.

Стандартизація елементної бази: У пристрої застосовано виключно серійні електронні компоненти широкого вжитку, що випускаються промисловістю і не потребують індивідуального замовлення чи спеціальних умов монтажу.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання мікросхем ATmega8, CD4028, TL071 у класичних DIP-корпусах, транзисторів у корпусах TO-92 та стандартних індикаторних світлодіодів діаметром 3 мм істотно спрощує матеріально-технічне постачання, зменшує витрати на комплектацію і підвищує ремонтпридатність виробу. Оскільки дані компоненти є загальнодоступними на ринку, це повністю усуває ризик залежності від дефіцитних чи унікальних замовних деталей і знижує фінансові витрати при закупівлі дослідних партій.

- Уніфікація монтажних операцій: Усі радіокомпоненти орієнтовані на одностороннє встановлення у наскрізні отвори двосторонньої друкованої плати. Однотипність виводів та однакова просторова орієнтація світлодіодів у матриці мінімізують ризик виникнення помилок при складанні, знижують вимоги до кваліфікації монтажників та усувають потребу в дорогому прецизійному обладнанні автоматизованого поверхневого монтажу. Крім того, наскрізний монтаж забезпечує значно вищу стійкість елементів до механічних вібрацій порівняно з SMD-компонентами.

Технологічність обслуговування та виготовлення

Друкована плата виготовляється за поширеним комбінованим позитивним методом із фольгованого склотекстоліту СФ-2-35 товщиною 1,5 мм. Цей матеріал відрізняється високими діелектричними властивостями та механічною міцністю. Проста прямокутна геометрія плати без складних контурних вирізів забезпечує максимальний коефіцієнт використання матеріалу при розкрої стандартних листів діелектрика, знижуючи відсоток відходів. Трасування за третім класом точності забезпечує оптимальні зазори та ширину сигнальних доріжок, що гарантує високу завадостійкість без штучного ускладнення технологічних процесів хімічного травлення.

Зв'язок між обчислювальним і матричним модулями реалізований за допомогою стандартних штирових з'єднувачів типу PLS із кроком 2,54 мм та провідникових перемичок, що спрощує механічне збирання всередині корпусу. Жорстка фіксація цих конекторів виключає потребу в застосуванні додаткового клейового кріплення і гарантує надійний електричний контакт.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.3 Опис технології виготовлення друкованої плати. Вибір основних та допоміжних матеріалів

Технологічний процес виготовлення двосторонньої друкованої плати для десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу базується на використанні комбінованого позитивного методу. Цей метод забезпечує високу якість формування струмопровідного малюнка та є оптимальним за співвідношенням витрат і технічних параметрів для плат третього класу точності. Відповідно до розробленої геометрії, мінімальна відстань між елементами провідного малюнка становить від 0,4 мм до 0,6 мм. Боковий зазор між сигнальними провідниками становить від 0,6 мм до 0,8 мм, що в повній мірі гарантує високу електричну міцність діелектрика.

Технологічний процес складається з таких послідовних стадій:

1. Підготовка заготовок: Розкрій та очищення листів склотекстоліту, свердління технологічних отворів.
2. Попередня металізація отворів: Хімічне осадження тонкого шару міді на внутрішні стінки монтажних отворів для забезпечення міжшарових електричних переходів.
3. Формування малюнка (фотолітографія): Нанесення на обидва робочі шари сухого плівкового фоторезисту, його експонування через негативні фотошаблони та проявлення для оголення ділянок фольги, що підлягають подальшому видаленню.
4. Гальванічне підсилення: Електролітичне осадження шару міді товщиною до 25 мкм в отворах та на провідниках з наступним нанесенням металорезисту.
5. Травлення та фінішна обробка: Видалення фоторезисту, хімічне травлення незахищеної мідної фольги, зняття металорезисту, нанесення захисної зеленої паяльної маски та лудіння відкритих контактних площадок.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір основних матеріалів друкованої плати визначається жорсткими конструкторськими вимогами до механічної міцності та заводо захищеності цифрового ядра на базі мікроконтролера ATmega8.

Цей матеріал складається зі склотканини та епоксидної смоли, а його провідниковий шар утворений електролітичною мідною фольгою товщиною 35 мкм. Вибір обґрунтований низьким температурним розширенням склотекстоліту та високою адгезією міді, що унеможливило відшарування доріжок живлення шириною 0,34 мм під час тривалої роботи світлодіодної матриці.

Допоміжні матеріали забезпечують стабільність проходження всіх хімічних та термічних операцій. Для формування захисного рельєфу малюнка застосовується сухий плівковий фоторезист, стійкий до кислих розчинів. Проявлення малюнка здійснюється у слабкому розчині кальцинованої соди (карбонату натрію). Для операції хімічного травлення фольги використовується розчин на основі хлорного заліза (хлориду заліза), який забезпечує високу чіткість країв провідників та низьке бокове підтравлювання міді. Захисне покриття виконується за допомогою двокомпонентної епоксидної паяльної маски, яка захищає плату від окислення, корозії та вологи під час експлуатації аналізатора. Лудіння монтажних отворів виконується припоєм марки ПОС-61 з додаванням спирто-каніфольного флюсу, що гарантує бездоганну якість та надійність паяних з'єднань елементів у корпусах деталей.

Контроль якості та маркування друкованої плати

Після завершення всіх технологічних етапів виготовлення та фінішної обробки друкована плата підлягає обов'язковому контролю якості. Візуальний контроль здійснюється за допомогою оптичних приладів для виявлення можливих дефектів: підтравлювання доріжок, залишків фоторезисту, мікротріщин або механічних пошкоджень паяльної маски.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.4 Розробка і оформлення маршрутно-операційної технології складання і монтажу виробу

Технологічний процес підготовки, монтажу та контролю елементів на друковану плату складається з таких послідовних етапів:

- Розконсервація заготовки, видалення захисних мастил і зняття оксидного шару з плати шляхом очищення в спирто-бензиновій суміші;
- Нанесення стійкого маркування серійного номера на вільні ділянки текстоліту за допомогою лазерного гравера або штампа;
- Тимчасовий захист контактних майданчиків від потрапляння припою за допомогою термостійкого латексного покриття;
- Примусове термічне сушіння плати у конвекційній шафі для видалення вологи та запобігання розшаруванню під час паяння;
- Механічне формування, рихтування за шаблоном та підрізання виводів дискретних елементів під заданий крок отворів;
- Попереднє флюсування та гаряче лудіння виводів компонентів у тиглі, а також захист відкритих мідних провідників;
- Почергове встановлення виводів ЕРЕ у наскрізні монтажні отвори згідно зі схемою із дотриманням полярності;
- Автоматизоване паяння підготовленого друкованого вузла на конвеєрі методом хвилі розплавленого припою;
- Вирівнювання нахилених елементів та фінішне очищення плати ультразвуковим методом від залишків флюсу та шлаків;
- Електричне регулювання вузла, діагностування параметрів схеми та внутрішньосхемна прошивка мікроконтролера;
- Нанесення методом розпилення кількох захисних шарів вологостійкого електроізоляційного лаку з наступним сушінням;
- Фінальний технічний контроль ВТК, що включає візуальний огляд паяних з'єднань на відповідність вимогам ДСТУ.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок обсягу інвестицій, необхідних для реалізації проєктних рішень

Для реалізації проєктних рішень необхідно визначити обсяг інвестицій для їх здійснення. Обсяг інвестицій складається з вартості основних фондів за групами та витрат, пов'язаних із їх придбанням і вводом в експлуатацію.

Вартість будівель визначається, виходячи із орендної плати за них (приймається середня величина оренди виробничих приміщень в даному регіоні на час написання роботи ; приймається – 2000 грн/м² за місяць). При цьому вартість передавальних пристроїв включається в орендну плату будівель.

Вартість будівель розраховується за формулою:

$$V_{\text{буд}} = C_{\text{буд}} \times S_{\text{буд}} \quad (3.1)$$

$$V_{\text{буд}} = 2000 \times 100 = 200000 \text{ грн}$$

де $V_{\text{буд}}$ – вартість будівлі, грн.;

$C_{\text{буд}}$ – орендна плата за 1м² будівлі, грн./м²;

$S_{\text{буд}}$ – площа будівлі, м² (приймається 100 м²)

Будівлі орендуються разом із обладнанням, тому їх вартість слід збільшити на 50%, тобто:

$$V_{\text{буд}\Sigma} = 200\,000 + 100\,000 = 300\,000 \text{ грн}$$

де $V_{\text{буд}\Sigma}$ – вартість оренди будівель включно з вартістю обладнання;

$V_{\text{обл}}$ – вартість обладнання.

При цьому вартість обладнання складає:

$$V_{\text{обл}} = 200\,000 \times 0,5 = 100\,000 \text{ грн}$$

де K_0 – коефіцієнт, що враховує вартість обладнання ($K_0 = 0,5$)

Вартість інструментів та приладів $V_{\text{інстр}}$ складає 2% від вартості обладнання.

При цьому витрати на їх доставку приймають в розмірі 10% від їх вартості. Таким чином, вартість інструментів та приладів розраховується за формулою:

$$V_{\text{інстр}} = V_{\text{інв}} \times 0.02 \times 1,1 \quad (3.2)$$

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_{\text{інстр}} = 100\,000 \times 0.02 \times 1,1 = 2200 \text{ грн}$$

Вартість виробничого та господарського інвентарю $B_{\text{інв}}$ складає 3% від вартості обладнання. При цьому витрати на його доставку приймають в розмірі 10% від його вартості.

Таким чином, вартість інвентарю розраховується за формулою:

$$B_{\text{інв}} = B_{\text{обл}} \times 0.03 \times 1,1 \quad (3.3)$$

$$B_{\text{інв}} = 100\,000 \times 0,03 \times 1,1 = 3300 \text{ грн}$$

Загальний обсяг виробничих інвестицій розраховується за формулою:

$$\Pi = B_{\text{буд}\Sigma} + B_{\text{інстр}} + B_{\text{інв}} \quad (3.4)$$

$$\Pi = 300\,000 + 2200 + 3300 = 305\,500 \text{ грн}$$

Величина амортизаційних відрахувань розраховується за формулою:

$$A_{\text{інстр}} = \frac{2200 \times 25}{100} = 550 \text{ грн} \quad (3.5)$$

$$A_{\text{інв}} = \frac{3300 \times 25}{100} = 825 \text{ грн} \quad (3.6)$$

$$A_{\text{всього}} = 550 + 825 = 1375 \text{ грн} \quad (3.7)$$

де $S_{\text{бал}} =$ – балансова вартість основних фондів, грн. (для розрахунку приймають величину вартості основних фондів, що розрахована за формулами 3.4–3.5 в тому випадку, коли будівлі орендуються разом з обладнанням);

H_a - норма амортизації, % (величина норми амортизації встановлюється у відсотках до вартості кожної з груп основних фондів і становить: для будівель – 5%, обладнання – 20%, інструментів та приладів – 25%, інвентарю – 25%). Результати розрахунку річної суми амортизаційних відрахувань слід звести в табл. 3.1

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№з/п	Найменування основних фондів	Балансова вартість основних фондів, грн.	Річна сума амортизаційних відрахувань, грн.
1	Інструменти та прилади	2200	550
2	Виробничий та господарський інвентар	3300	825
	Всього:	5500	1375

3.2 Розрахунок собівартості продукції

Собівартість промислової продукції є базовою економічною категорією, яка у грошовому еквіваленті відображає сукупні поточні витрати підприємства на її розробку, безпосереднє виробництво, випробування та подальшу реалізацію. Процес калькулювання собівартості передбачає групування витрат за функціонально однорідними статтями, що дозволяє детально проаналізувати структуру витрат на одиницю продукції. Перелік цих калькуляційних статей визначається галузевими особливостями виробництва, а також внутрішньою обліковою політикою конкретного суб'єкта господарювання.

При визначенні планової чи фактичної вартості розробленого пристрою калькуляція собівартості продукції базується на таких типових статтях операційних витрат:

1. Сировина і матеріали (куповані комплектуючі вироби).
2. Енергія технологічна.
3. Заробітна плата виробничих робітників (основна і додаткова).
4. Відрахування на соціальні заходи.
5. Утримання та експлуатація машин і механізмів.
6. Загальновиробничі витрати.

Склад елементної бази світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу та розрахунок вартості елементів зведено у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Вартість елементів десятисмугового аналізатора спектра на базі ATmega8

№ з/п	Назва матеріалу (купованого виробу)	Кількість,	Ціна за одиницю,	Загальна вартість,
1	Плата друкована (двостороння, скло- текстоліт)	1	55,00	55,00
2	Мікроконтролер ATmega8 (ATMEL Corporation)	1	68,00	68,00
3	Операційний підсилювач TL071 (Texas Instruments)	1	24,00	24,00
4	BCD–десятковий дешифратор CD4028	1	22,00	22,00
5	Лінійний стабілізатор напруги LM7805	1	18,00	18,00
6	Кварцовий резонатор HC-49S (16МГц)	1	12,00	12,00
7	Біполярний транзистор PNP BC557	10	3,00	30,00
8	Біполярний транзистор NPN BC337	10	3,00	30,00
9	Резистор металоплівковий серії MFP (0,25 – 0,5 Вт)	20	1,00	20,00
10	Конденсатор керамічний радіальний (4.7 nF – 100 nF)	4	2,00	8,00
11	Конденсатор алюмінієвий електролі- тичний	6	4,00	24,00
12	Кремнієвий швидкодіючий діод 1N4148	4	1,50	6,00
13	Тактова кнопка Tactile Push Button 6×6 мм	2	4,00	8,00
14	Світлодіод індикаторний LED 3 мм (Kingbright)	100	2,50	250,00
15	Гніздо роз'єму RCA (моно, кутове ви- конання)	1	15,00	15,00
16	Роз'єм живлення DC Power Jack DC- 005	1	12,00	12,00
17	Штирьовий з'єднувач PLS (Pin Header)	2	7,50	15,00
-	Всього (вартість комплектуючих без ТЗВ):	-	-	637,00

Сума цих статей формує виробничу собівартість. До повної собівартості також включаються адміністративні витрати, витрати на збут та інші операційні витрати.

Витрати матеріалів на одиницю продукції з урахуванням транспортно-заготівельних витрат визначають за формулою :

$$B_M = \sum_{i=1}^m (H_{mi} \times C_{mi}) \times K_{\text{тр}} \quad (3.8)$$

де:

m — кількість видів матеріалів та елементів елементної бази, які використовують для виробництва одиниці продукції;

H_{mi} — норма витрат i -го виду матеріалу (купованих виробів) на виробництво одиниці продукції, натур. од.;

C_{mi} — ціна за одиницю i -го виду матеріалу або елемента, грн;

$K_{\text{тр}}$ — коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат (приймається $K_{\text{тр}} = 1,04$).

Вартість матеріалів (табл. 3.2) з врахуванням транспортних витрат:

$$637 \times 1,04 = 662,48 \text{ грн}$$

Для розрахунку заробітної плати працівників визначають відрядну розцінку за кожну операцію (одиницю робити чи продукцію) виконану працівником за формулою.

$$P_{\text{вик}} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{\text{вип}i}}{100} \times C_B \quad (3.9)$$

Таблиця 3.3 – Розрахунок основної заробітної плати

№ з/п	Назва операції	Тш, год	Розряд	Годинна тарифна ставка (Ст, грн/год)	Відрядна розцінка ($P_{\text{від}}$), грн
1	Комплектування	0,005	4	180	0,90
2	Розконсервація дп	0,005	3	150	0,75
3	Маркування заводського номеру	0,005	3	150	0,75
4	Захист	0,005	3	150	0,75
5	Сушка	0,020	3	150	3,00
6	Залудження	0,005	5	220	1,10
7	Установка ЕРЕ	0,045	5	220	9,90
8	Автоматизована пайка	0,005	5	220	1,10
9	Електромонтаж	0,005	5	220	1,10
10	Регулювання	0,005	3	150	0,75
11	Лакування	0,005	3	150	0,75
12	Технічний контроль	0,005	4	180	0,90
Всього		0,115			21,75

де Тшт виконання однієї операції (одиниці роботи, чи продукції), год;
m- кількість виконаних операцій;

Cr- година тарифна ставка відповідно до розряду виконаних робіт, грн

Витрати на додаткову заробітну плату працівників (В дод, э,пл)
приймаються в розмірі 11% від основної заробітної плати виробничих
працівників і розраховуються за формулою :

$$B_{\text{дод.з.п}} = P_{\text{від}} \times 0,11 \quad (3.10)$$

$$B_{\text{дод.з.п}} = 21,75 \times 0,11 = 2,39 \text{ грн}$$

де $P_{\text{від}}$ — основна заробітна плата виробничих робітників, грн. (становить 5,11 грн.).

Сума відрахувань на соціальні заходи визначається за формулою :

$$C_{\text{в.с.з.}} = \frac{\alpha}{100} \times (P_{\text{від}} + B_{\text{дод.з.п}}) \quad (3.11)$$

$$C_{\text{в.с.з.}} = \frac{22}{100} \times (21,75 + 2,39) = 7,17 \text{ грн}$$

де α — відсоток відрахувань на соціальні заходи (згідно з чинним законодавством України приймають єдиний соціальний внесок (ЄСВ) у розмірі 22%). Витрати на утримання та експлуатацію машин і механізмів.

Витрати на утримання та експлуатацію машин і механізмів є комплексними, оскільки охоплюють витрати, що безпосередньо необхідні для експлуатації обладнання, амортизаційні відрахування на відтворення машин і механізмів тощо. Сюди також відносять витрати на поточний ремонт технологічного устаткування, допоміжні матеріали, змащувальні речовини та енергію для роботи інструментів. Оскільки такі витрати неможливо обчислити безпосередньо на одиницю продукції, їх розподіляють за вибраною базою розподілу — заробітною платою виробничих працівників. Це дозволяє пропорційно врахувати частку загальногосподарських витрат у структурі собівартості конкретного виробу.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання розраховуються за формулою:

$$B_{\text{усо}} = \frac{\alpha_{\text{усо}}}{100} \times (P_{\text{від}} + B_{\text{дод.з.п}}) \quad (3.12)$$

де $\alpha_{\text{усо}}$ — відсоток витрат на утримання та експлуатацію обладнання (приймається у розмірі 96% відповідно до умов базового підприємства).

$$B_{\text{усо}} = \frac{96}{100} \times (21,75 + 2,39) = 23,27 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати

Витрати за статтею «Загальновиробничі витрати» охоплюють витрати на управління, виробниче та господарське обслуговування в межах виробництва, а також витрати на заробітну плату з відрахуваннями на соціальні заходи управлінських працівників, спеціалістів та обслуговуючого персоналу. Вказані витрати розраховують за формулою :

$$B_{\text{зв}} = \frac{\alpha_{\text{зв}}}{100} \times (P_{\text{від}} + B_{\text{дод.з.п}}) \quad (3.13)$$

де $\alpha_{\text{зв}}$ — відсоток загальновиробничих витрат (прийнято у розмірі 130%).

$$B_{\text{зв}} = \frac{130}{100} \times (21,75 + 2,39) = 30,66 \text{ грн}$$

Розрахунок виробничої собівартості та ціни пристрою

Разом виробнича собівартість $S_{\text{вир}}$ визначається як сума витрат за пунктами 1–6 за формулою:

$$S_{\text{вир}} = B_{\text{м}} + (P_{\text{від}} + B_{\text{дод.з.п}} + C_{\text{в.с.з.}}) + B_{\text{усо}} + B_{\text{зв}} \quad (3.14)$$

$$S_{\text{вир}} = 662,48 + 21,75 + 2,39 + 7,17 + 23,27 + 30,66 = 747,69 \text{ грн}$$

На підставі розрахованих вище даних складають калькуляцію собівартості одиниці продукції (таблиця 3.4).

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Калькуляція собівартості світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу

№ з/п	Найменування стадій витрат	Величина витрат, грн
1	Витрати матеріалів та купованих виробів (елементна база)	662,48
2	Основна заробітна плата виробничих працівників	2,39
3	Додаткова заробітна плата виробничих працівників	7,17
4	Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ 22%)	23,27
5	Загальновиробничі витрати	30,66
6	Разом виробнича собівартість (п. 1–6):	747,69
7	у тому числі: змінні витрати (сума п. 1–4)	669,40
8	у тому числі: умовно-постійні витрати (сума п. 5–6)	12,81

Оптова ціна одиниці продукції (одного виробу) підприємства розраховується з урахуванням запланованого прибутку за формулою :

$$\text{Ц}_{\text{од.пр}} = S_{\text{вир}} \times \frac{100 + \alpha_{\text{пр}}}{100} \quad (3.15)$$

де $\alpha_{\text{пр}}$ — відсоток запланованого прибутку від собівартості виробу (прийнято $\alpha_{\text{пр}} = 37\%$.)

$$\text{Ц}_{\text{од.пр}} = 747,69 \times \frac{100 + 37}{100} = 934,63 \text{ грн}$$

3.3 Оцінка економічної ефективності та доцільності впровадження проектних рішень

Річний прибуток підприємства від реалізації спроектованих аналізаторів спектра Π_p визначається як різниця між річною виручкою (за оптовими цінами) та повною виробничою собівартістю всього обсягу випуску за формулою :

$$\Pi_p = (\text{Ц}_{\text{од.пр}} - S_{\text{вир}}) \times N_p \quad (3.16)$$

$$\Pi_p = (934,63 - 747,69) \times 1200 = 302\,904 \text{ грн}$$

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Π_p - річний прибуток від реалізації проекту, грн.;

$\Pi_{од.пр}$ - ціна одиниці продукції, грн.;

$S_{вир}$ - собівартість одиниці продукції, грн.;

Np - річна виробнича програма, од. ($Np = 1200$ шт.)

Чистий прибуток від реалізації проекту розраховується за формулою:

$$\text{ЧП} = \Pi_p - \Pi_p \times \frac{\Pi_{п}}{100} \quad (3.17)$$

$$\text{ЧП} = 302\,904 - 302\,904 \times \frac{18}{100} = 248\,381 \text{ грн}$$

де ЧП - чистий прибуток від реалізації проекту, грн.;

$\Pi_{п}$ - ставка податку на прибуток, % (становить 18%).

Собівартість всього виробництва розраховується за формулою :

$$S_{повq} = S_{вир} \times Np \quad (3.18)$$

$$S_{повq} = 747,69 \times 1200 = 818\,652 \text{ грн}$$

де $S_{повq}$ - собівартість всього виробництва, грн.

Рентабельність продукції визначається за формулою :

$$P_{п} = \frac{\text{ЧП}}{S_{повq}} \times 100\% \quad (3.19)$$

$$P_{п} = \frac{248\,381}{818\,652} \times 100\% = 30,34\%$$

де $P_{п}$ - рентабельність продукції, %.

Сума чистих грошових надходжень від інвестицій розраховується за формулою :

$$\Gamma\P = \text{ЧП} + A \quad (3.20)$$

$$\Gamma\P = 248\,381,28 + 1375 = 249\,756 \text{ грн}$$

де $\Gamma\P$ - сума чистих грошових надходжень, грн.;

A - величина амортизаційних відрахувань, грн.

Теперішня вартість майбутніх грошових потоків від інвестиційного проекту обчислюють за формулою :

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$TB = \sum_{t=1}^n \frac{ГП_t}{(1+r)^t} \quad (3.21)$$

$$TB = \frac{249\,756,28}{(1+0,15)^1} + \frac{249\,756,28}{(1+0,15)^2} + \frac{249\,756,28}{(1+0,15)^3} = 570\,247,11 \text{ грн}$$

де $ГП_t$ - грошовий потік у t -му році від реалізації проекту, грн.;

r - ставка дисконту ($r = 0,15$);

n - кількість років інвестування ($n = 3$ роки).

Чиста теперішня вартість проекту розраховується за формулою

$$ЧТВ = TB + ПІ \quad (3.22)$$

$$ЧТВ = 570\,247,11 - 305\,500 = 264\,747,11 \text{ грн}$$

де ЧТВ - чиста теперішня вартість проекту, грн.;

TB - теперішня вартість майбутніх грошових потоків, грн.;

ПІ - початкові інвестиції, грн.

Індекс прибутковості інвестицій розраховується за формулою :

$$ІП = \frac{TB}{ПІ} \quad (3.23)$$

$$ІП = \frac{570\,247,11}{305\,500} = 1,87 \text{ року}$$

де ІП- індекс прибутковості інвестицій.

Дисконтований термін окупності інвестицій розраховується за формулою :

$$T_{\text{ок.диск}} = \frac{ПІ}{ГП_{\text{диск}}} \quad (3.24)$$

$$T_{\text{ок.диск}} = \frac{305\,500}{190\,082,37} = 1,61 \text{ року} \quad (3.28)$$

де $ГП_{\text{диск}}$ - середньорічна величина дисконтованих грошових потоків, що визначається за формулою :

$$ГП_{\text{диск}} = \frac{TB}{t} \quad (3.25)$$

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$ГП_{\text{диск}} = \frac{570\,247,11}{3} = 190\,082,37$$

Де t - кількість років інвестування.

Таблиця 3.5 – Показники оцінки економічної ефективності використання елементів виробничо-ресурсного потенціалу.

№ з/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Величина показника
1	Річний обсяг виробництва виробу	од.	1 200
2	Собівартість виробу	грн/од.	682,21
3	Ціна одиниці виробу	грн/од.	934,63
4	Початкові інвестиції для реалізації інвестиційного проекту	грн	305 500,00
5	Чистий прибуток	грн	248 381,28
6	Рентабельність виробу	%	30,34
7	Чиста теперішня вартість проекту	грн	264 747,11
8	Індекс прибутковості	-	1,87
9	Дисконтований термін окупності інвестицій	років	1,61

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Методи боротьби зі шкідливими речовинами на виробництві

При організації робочого місця спеціаліста, що займається монтажем, збиранням, програмуванням та налагодженням радіоелектронної апаратури на базі мікроконтролерів, безпека праці є першочерговим завданням. Технологічний процес виготовлення дослідних зразків або серійного виробництва електронних блоків неминуче пов'язаний із використанням хімічних речовин та матеріалів, які під впливом високих температур здатні виділяти у повітря робочої зони токсичні сполуки. Забезпечення здорових та безпечних умов праці регулюється чинним законодавством України та державними санітарно-гігієнічними нормами.

4.1.1. Класифікація та характеристика шкідливих виробничих факторів

Під час ручного або автоматизованого паяння елементної бази на друковані плати найчастіше застосовуються олов'яно-свинцеві припої та різноманітні види спирто-каніфольних чи активних флюсів. Термічне руйнування цих матеріалів супроводжується утворенням складного за складом паяльного диму, який містить такі небезпечні компоненти:

- Пари та аерозолі свинцю. Свинець належить до речовин найвищого класу небезпеки. Він має здатність накопичуватися в організмі людини при тривалому вдиханні навіть незначних його концентрацій. Свинець негативно впливає на кровотворну систему, викликає хронічні ураження нервової системи та внутрішніх органів, що призводить до загального зниження імунітету та професійних захворювань.

- Аерозолі та продукти деструкції каніфолі. При нагріванні каніфолі та флюсів на її основі виділяються складні органічні кислоти. Вони мають виражену подразнювальну дію на слизові оболонки очей, носоглотки та верхніх дихальних шляхів. Тривалий контакт із цими аерозолями без належного захисту може спровокувати виникнення стійких алергічних реакцій та професійної астми.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Пари органічних розчинників. Для знежирення поверхонь друкованих плат перед паянням,

а також для видалення залишків флюсу після завершення монтажу використовуються технічні спирти (переважно ізопропіловий або етиловий) та інші складні розчинники. Їхні випари мають наркотичну дію на центральну нервову систему, викликають головний біль, запаморочення, а при безпосередньому контакті зі шкірою рук — сухість, тріщини та дерматити.

- Газоподібні продукти термодеструкції. Сюди відносяться чадний газ та оксиди азоту, які утворюються при високотемпературних процесах. Вони викликають кисневе голодування організму, знижують концентрацію уваги монтажника та викликають швидку втому під час робочої зміни.

Для запобігання професійним отруєнням та захворюванням вміст усіх перерахованих речовин у повітрі виробничого приміщення суворо контролюється і не повинен перевищувати встановлених державних гранично допустимих концентрацій.

4.1.2. Інженерно-технічні методи захисту та вентиляція

Основним і найбільш ефективним інженерним методом боротьби зі шкідливими речовинами на робочому місці є правильна організація вентиляції повітря. Вона повинна мати комплексний характер і складатися з двох взаємодоповнюючих систем: місцевої витяжної та загальнообмінної припливно-витяжної.

Місцева витяжна вентиляція. Її головне завдання — вловити шкідливі випари та дим безпосередньо в місці їхнього утворення, не дозволяючи їм поширитися по всьому об'єму приміщення і потрапити в зону дихання працівника. На кожному робочому столі монтажника встановлюються спеціальні місцеві відсмоктувачі. Це можуть бути витяжні парасолі, бічні щілинні приймачі або сучасні мобільні димовловлювачі, інтегровані безпосередньо з паяльною станцією. Потік повітря у цих пристроях налаштовується таким чином, щоб надійно затягувати весь паяльний дим,

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

але при цьому не охолоджувати наконечник паяльника та не створювати дискомфортних протягів для рук працівника.

Загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція. Вона призначена для постійного оновлення повітря в усьому приміщенні лабораторії чи цеху. Ця система видаляє залишкове забруднене повітря з верхніх та нижніх зон кімнати (оскільки пари деяких розчинників важчі за повітря і можуть накопичуватися біля підлоги) та подає чисте, свіже повітря. У холодну пору року припливне повітря обов'язково проходить через систему підігріву (калорифери) для збереження комфортної температури в приміщенні. Кратність обміну повітря розраховується так, щоб повністю оновлювати повітряне середовище кілька разів на годину.

4.1.3. Організаційні та медико-профілактичні заходи

Окрім технічних засобів, безпека праці забезпечується чітким дотриманням організаційних правил на підприємстві чи в лабораторії коледжу:

- Модернізація технологічних процесів. За можливості здійснюється перехід на безсвинцеві технології паяння, які є значно безпечнішими для людини та навколишнього середовища, а також використання сучасних флюсів, що не вимагають подальшого змивання токсичними розчинниками.

- Раціональний режим праці та відпочинку. Робота з паяльним обладнанням вимагає високої концентрації, тому для працівників впроваджуються обов'язкові регламентовані перерви для відпочинку, відновлення уваги та додаткового провітрювання приміщення.

- Суворі правила особистої гігієни. У виробничих приміщеннях, де виконується монтаж електронних плат, суворо заборонено зберігати та вживати їжу, а також пити воду чи палити. Після завершення роботи або перед перервою працівник зобов'язаний ретельно вимити руки з милом та спеціальними очисними пастами, які ефективно видаляють залишки важких металів, та прополоскати ротову порожнину чистою водою.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Медичний контроль. Весь персонал, який регулярно контактує зі шкідливими виробничими факторами, проходить обов'язкові попередні та періодичні медичні огляди для виявлення можливих негативних змін в організмі на ранніх стадіях.

4.1.4. Засоби індивідуального захисту

У випадках, коли інженерні системи вентиляції не можуть повністю виключити ризик контакту зі шкідливими речовинами (наприклад, під час обслуговування великих ванн для лудіння, очищення вентиляційних фільтрів або масового лакування плат), працівники забезпечуються індивідуальними засобами захисту:

- Для органів дихання: застосовуються спеціальні протиаерозольні або комбіновані респіратори, оснащені вугільними фільтрами, які здатні затримувати як дрібні часточки кіптяви, так і хімічні пари розчинників.

- Для захисту шкіри рук: використовуються щільні нітрилові рукавички. Вони стійкі до дії спиртів, флюсів та очисних сумішей. Працювати в тонких тканинних рукавичках заборонено, оскільки вони швидко просочуються рідкою хімією і тримають її на шкірі, викликаючи хімічні опіки чи алергію.

- Для захисту очей: обов'язковим є використання прозорих захисних окулярів із бічними щитками. Вони захищають очі від випадкових бризок розплавленого металу під час паяння або від уламків дротів, що відлітають під час обрізання виводів електронних компонентів кусачками.

- Спецодяг: працівники забезпечуються спеціальними бавовняними халатами або костюмами. Цей одяг підлягає регулярному пранню та очищенню у спеціалізованих пральнях окремо від звичайного побутового одягу.

4.2. Види виробничого освітлення у приміщеннях

Рационально спроектоване та якісно виконане виробниче освітлення на ділянці збирання, програмування та тестування пристроїв на мікроконтролерах є одним із найважливіших елементів охорони праці. Трудова діяльність регулювальника або монтажника радіоелектронної апаратури характеризується надзвичайно високим зоровим напруженням. Працівнику доводиться розпізнавати наддрібне маркування сучасних електронних компонентів, контролювати якість мікроскопічних паяних з'єднань, працювати з тонкими інструментами, а також тривалий час аналізувати схеми та програмний код на екранах комп'ютерів.

Недостатнє, надто яскраве або нерівномірне світло викликає стрімку втоми очей, призводить до головного болю, знижує концентрацію уваги, уповільнює швидкість виконання операцій та стає прямою причиною помилок, браку в роботі та виробничого травматизму.

4.2.1. Класифікація виробничого освітлення за джерелом світла

Відповідно до державних будівельних норм та санітарних стандартів України, освітлення у робочих приміщеннях поділяється на три основні види залежно від джерел, які випромінюють світло:

- **Природне освітлення.** Воно створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу. Це освітлення є найбільш сприятливим і звичним для людського ока, оскільки має природний спектр, забезпечує ідеальну передачу кольорів та позитивно впливає на нервову систему працівника. За своєю конструкцією воно буває:

- **Бічним** — світло потрапляє в кімнату через віконні прорізи у зовнішніх стінах будівлі (може бути однобічним або двобічним).
- **Верхнім** — світло надходить зверху через прозорі конструкції або спеціальні ліхтарі у перекритті даху.
- **Комбінованим** — поєднує в собі одночасно бічні вікна та верхні світлові прорізи, що забезпечує найбільш рівномірний розподіл світла у великих цехах.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Штучне освітлення. Воно створюється виключно електричними джерелами світла. У сучасній радіоелектронній промисловості для цього використовують енергоефективні світлодіодні панелі (LED) або люмінесцентні лампи. Штучне освітлення стає основним у вечірній та нічний час, у похмуру погоду, а також у приміщеннях, де з технічних причин неможливо зробити вікна (наприклад, у підвальних лабораторіях чи спеціальних чистих зонах).

- Суміщене освітлення. Це варіант, при якому природне світло з вікон через велику глибину приміщення або похмуру погоду не може забезпечити потрібний рівень видимості, тому його постійно доповнюють увімкненими електричними світильниками.

Це дозволяє підтримувати стабільні умови роботи протягом усього робочого дня незалежно від змін погоди на вулиці.

4.2.2. Класифікація штучного освітлення за функціональним призначенням

Електричне штучне освітлення поділяється на кілька систем залежно від того, які саме завдання воно виконує у виробничому процесі:

- Робоче освітлення. Це головна система, яка працює постійно під час трудового процесу і створює необхідні умови для виконання технологічних операцій, безпечного пересування людей по кабінету чи цеху та нормальної експлуатації обладнання.

- За своєю структурою робоче освітлення організовують за двома схемами:

- Загальне освітлення — світильники розміщують під стелею рівномірно по всій площі приміщення, що створює однаковий світловий фон для всієї кімнати.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

○ Комбіноване освітлення — поєднує загальну стельову систему та місцеве освітлення (додаткові настільні лампи, світильники на пантографах, спрямовані безпосередньо на робоче місце монтажника чи розробника). Санітарні норми суворо забороняють використовувати лише місцеве світло без загального,

тому що різкий перехід від яскраво освітленої плати до повної темряви навколо миттєво перевтомлює око працівника.

• Аварійне освітлення. Ця система працює незалежно від головної і вмикається в автоматичному режимі лише тоді, коли робоче світло раптово зникає через аварію в електромережі, пожежу, замикання чи стихійне лихо. Аварійне освітлення має два напрямки:

○ Освітлення безпеки — створює мінімально необхідні умови для того, щоб персонал міг безпечно зупинити складне обладнання.

○ Евакуаційне освітлення — встановлюється над дверима, вздовж коридорів та на сходах. Його завдання — підсвітити зелені покажчики напрямку руху та забезпечити достатню видимість для того, щоб люди могли спокійно, без паніки та травм залишити аварійну будівлю.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було розглянуто питання розробки електронного пристрою для візуального відображення спектра звукового сигналу. Результатом виконаної роботи стала розробка конструкції десятисмугового світлодіодного аналізатора спектра звукового сигналу, який дозволяє наочно відображати частотний склад аудіосигналу за допомогою світлодіодної індикації.

У ході виконання роботи було проведено аналіз принципів побудови подібних пристроїв, їх функціональних можливостей та основних технічних характеристик. Встановлено, що використання мікроконтролерної елементної бази дозволяє значно розширити функціональні можливості пристрою, підвищити точність обробки сигналу та забезпечити гнучкість налаштування параметрів роботи системи.

У якості основного керуючого елемента пристрою був використаний мікроконтролер ATmega8, який забезпечує обробку вхідного аудіосигналу та керування світлодіодною індикацією. Використання даного мікроконтролера дозволяє реалізувати алгоритм аналізу сигналу та формування сигналів керування світлодіодами при відносно невеликій складності апаратної частини пристрою.

У проєкті була розроблена електрична принципова схема пристрою, яка включає мікроконтролер, світлодіодні індикатори, елементи формування сигналу, а також допоміжні елементи електронної схеми. Схема забезпечує коректну роботу пристрою та відповідає вимогам до електронних пристроїв даного типу.

Важливим етапом роботи стало використання сучасних систем автоматизованого проєктування. Для розробки електричної схеми та друкованої плати була використана система EasyEDA Pro, яка дозволяє виконувати проєктування електронних пристроїв у зручному програмному середовищі. Використання даної системи значно спростило процес створення електричної схеми, та проєктування друкованої плати.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі роботи була створена друкована плата пристрою, на якій розміщені всі необхідні електронні компоненти. При проектуванні друкованої плати було враховано технологічні вимоги виготовлення, а також забезпечено оптимальне розміщення компонентів і трасування струмопровідних доріжок. Використання САПР дозволило виконати перевірку відповідності встановленим правилам проектування та усунути можливі помилки.

Окрім проектування електричної схеми та друкованої плати, у роботі було виконано тривимірне моделювання конструкції пристрою з використанням системи Fusion 360. Створення тривимірної моделі дозволило оцінити габаритні розміри друкованої плати, розташування основних елементів конструкції та забезпечити можливість подальшого проектування корпусу пристрою.

Також у процесі виконання роботи були виконані необхідні інженерні розрахунки із застосуванням програмного середовища Mathcad 15. Використання даної системи дозволило виконати розрахунки параметрів електричних елементів та інших характеристик пристрою у зручній математичній формі, що підвищує точність отриманих результатів.

У результаті виконання проекту було отримано повний комплект конструкторської документації, необхідної для виготовлення пристрою. До складу цієї документації входять електрична принципова схема, креслення друкованої плати, перелік елементів та інші допоміжні матеріали.

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Романичева Е. Т. Розробка та оформлення конструкторської документації радіоелектронної апаратури: довідник / Е. Т. Романичева, А. К. Іванова, О. М. Куликов. – М.: Радіо і зв'язок, 1989. – 448 с.
2. Городилін В. М., Городилін В. В. Регулювання та випробування радіоапаратури : підручник для радіотехнічних спеціальностей. – М.: Вища школа, 1992. – 287 с.
3. Коротков І. А. Цифровий вольтметр на мікросхемі ICL7135 та особливості підключення індикаторів // Науково-технічний журнал «Радіоаматор». – 2003. – №11. – С. 22–24.
4. Застосування мікросхемних стабілізаторів напруги серій 142, К142 та КР142 // Радіотехнічний журнал «Радіо». – 1991. – №3. – С. 47–51.
5. АТmega8А PU 8 bit 16MHz мікроконтролер у корпусі DIP28: технічні характеристики та опис архітектури. – Режим доступу: direnc.net (дата звернення 26.05.2026).
6. Довідкова інформація по електронних компонентах, мікросхемах та напівпровідникових приладах. – Режим доступу: schem.net (дата звернення 27.05.2026).
7. DIP 16 корпус логічної інтегральної схеми: габаритні параметри та креслення посадкового місця. – Режим доступу: semicon-storage.com (дата звернення 28.05.2026).
8. Керамічний дисковий конденсатор 47 нФ: технічні характеристики та експлуатаційні параметри. – Режим доступу: velleman.eu (=en (дата звернення 29.05.2026).
9. Роз'єм типу RCA (гніздо «тюльпан») для монтажу на плату: опис контактної групи та електрична схема. – Режим доступу: usoz.ru (дата звернення 26.05.2026).
10. DC Power Jack (стандартне гніздо живлення постійного струму DC-005) для друкованої плати: технічні дані. – Режим доступу: chinadaier.com (дата звернення 27.05.2026).

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. Ц. Жидецький. — 5-те вид., доповн. — К. : Знання, 2014. — 373 с.
12. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів (ДСТУ ГОСТ 3.1128:2014, IDT). — Режим доступу: budstandart.com (дата звернення 28.05.2026).
13. EasyEDA Pro – професійне онлайн середовище для проектування електронних схем і друкованих плат. DSpace Repository. — Режим доступу: <https://easyeda.com> (дата звернення 29.05.2026).
14. EasyEDA: опис інструментальних можливостей, схемотехнічне проектування та трасування плат. Портал WebCatalog. — Режим доступу: webcatalog.io (дата звернення 26.05.2026).
15. Уроки роботи в EasyEDA: покроковий практичний посібник для розробки принципових схем. — Режим доступу: sx.ua (дата звернення 27.05.2026).
16. ATmega8 devBoard – приклад та готовий шаблон принципової електричної схеми у базі проектів EasyEDA. — Режим доступу: easyeda.com (дата звернення 28.05.2026).
17. Ткачук К. Н. Основи охорони праці : підручник / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. — 2-ге вид., доповн. та переробл. — К. : Основа, 2006. — 448 с.
18. Схеми цифрових пристроїв на мікроконтролерах архітектури AVR (зокрема ATmega8) – загальний огляд та приклади побудови. — Режим доступу: v.ua (дата звернення 29.05.2026).
19. Полукаров О. І. Охорона праці та цивільний захист у дипломних проектах : навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей / О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, О. В. Землянська. — К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 142 с.

ДОДАТКИ

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А 3D модель пристрою

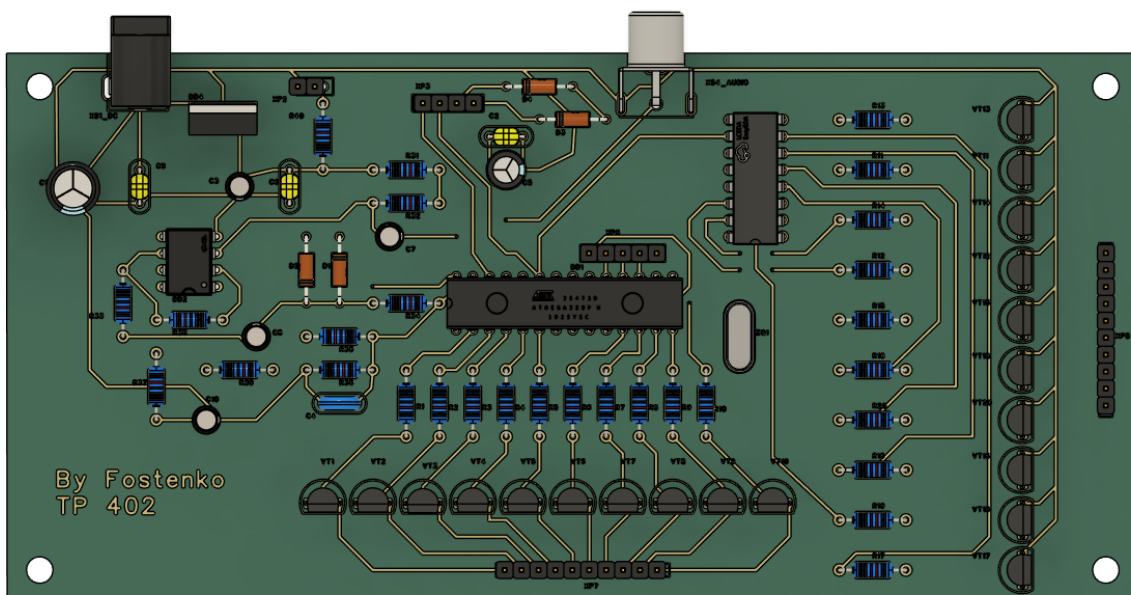


Рисунок А.1 – 3D модель головної плати, вузол друкуваний

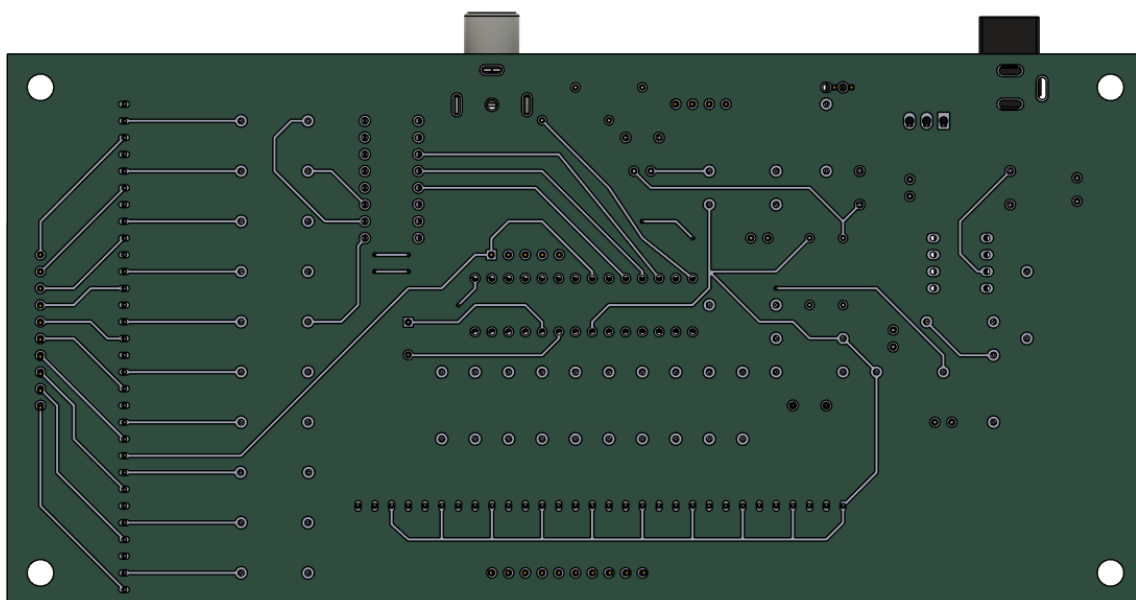


Рисунок А.2 – 3D модель головної плати, вузол друкуваний знизу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

74



Рисунок А.3 – 3D модель світлодіодної матриці , вузол друкований

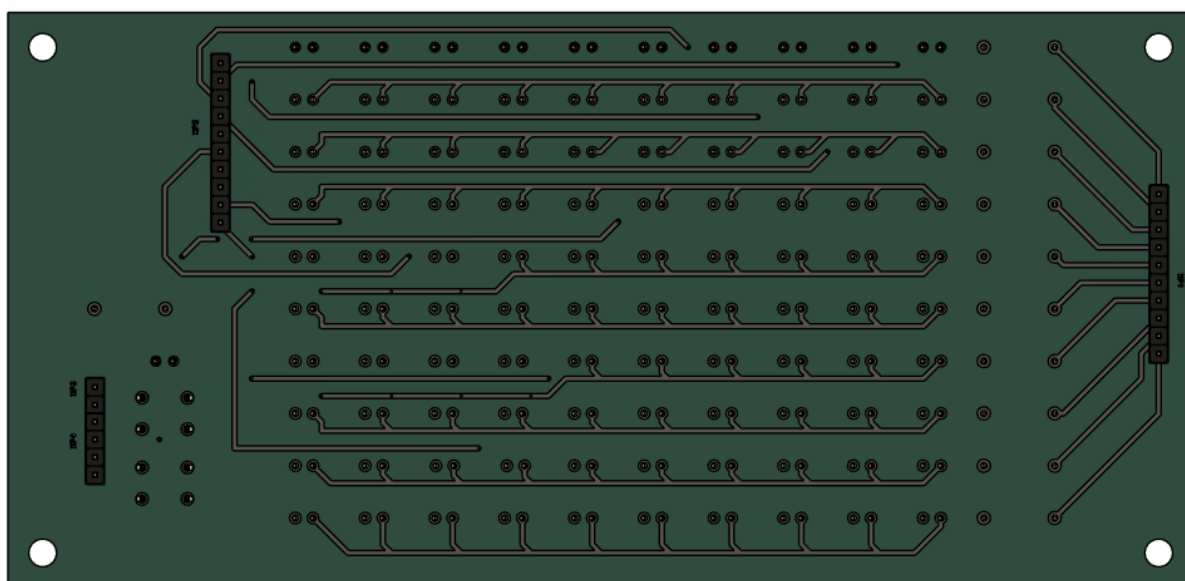


Рисунок А.4 – 3D модель світлодіодної матриці, вузол друкований знизу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

75

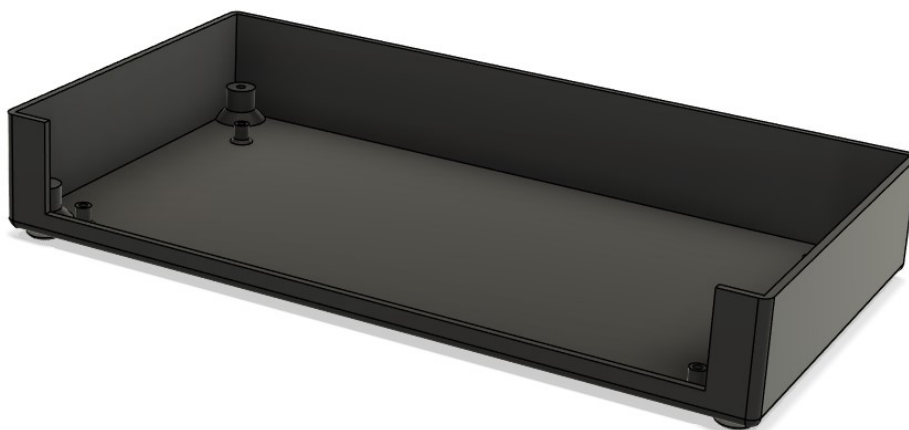


Рисунок А.5— 3D модель пристрою, нижня кришка

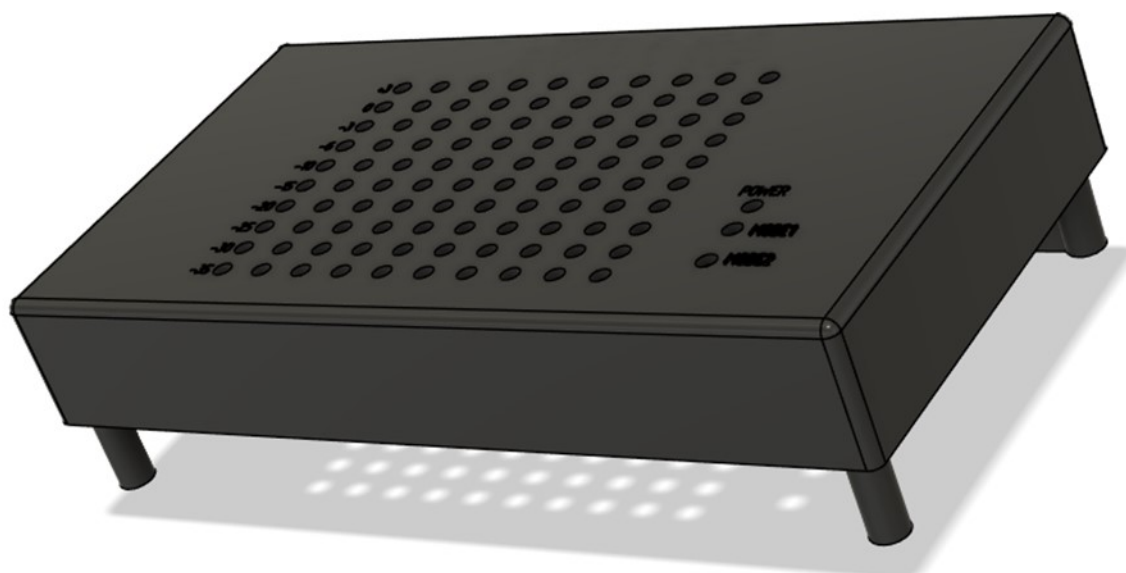


Рисунок А.6 – 3D модель пристрою, верхня кришка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

76

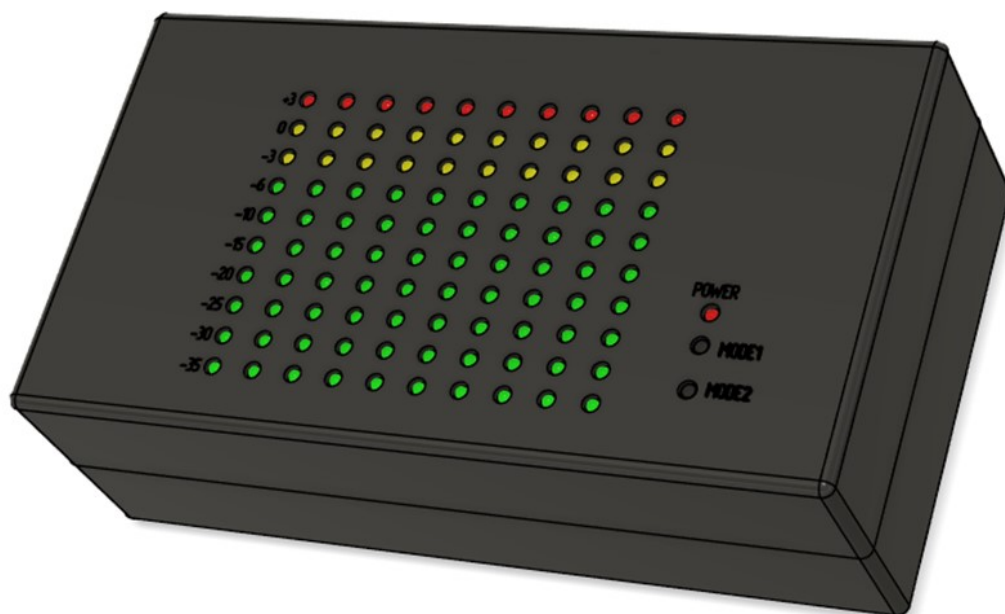


Рисунок А.7 – 3D модель пристрою, загальний вигляд



Рисунок А.8 – 3D модель пристрою, загальний вигляд збоку

Додаток Б Трасування в Easy EDA

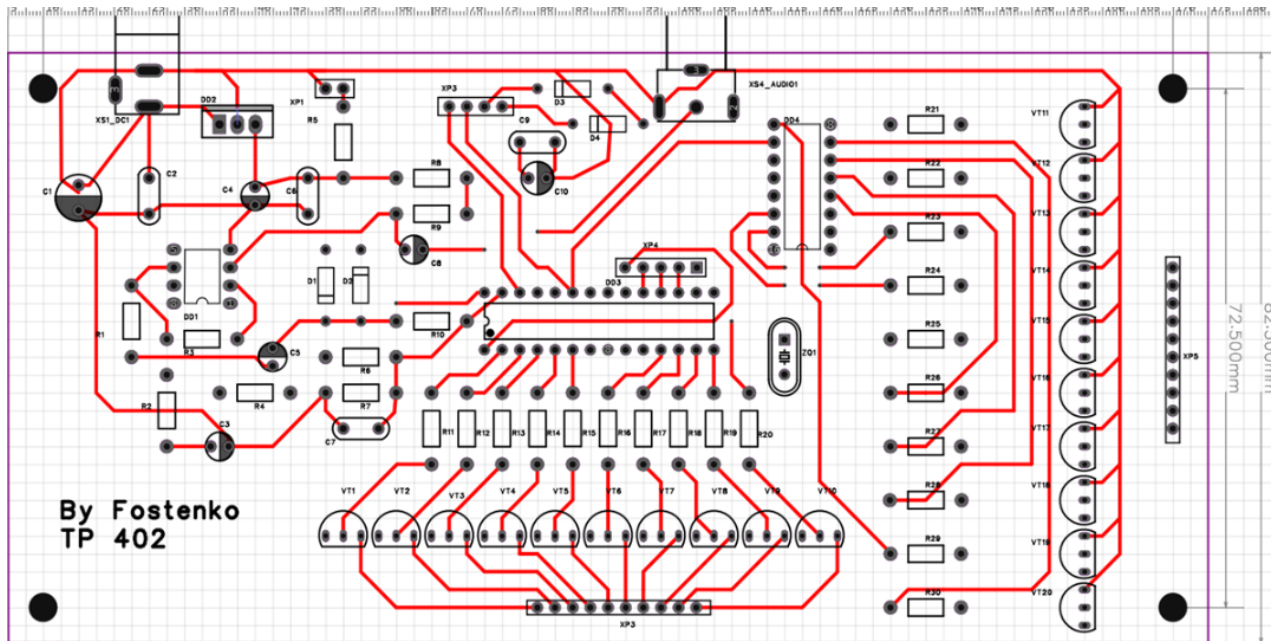


Рисунок Б.1 – Верхній шар головної плати

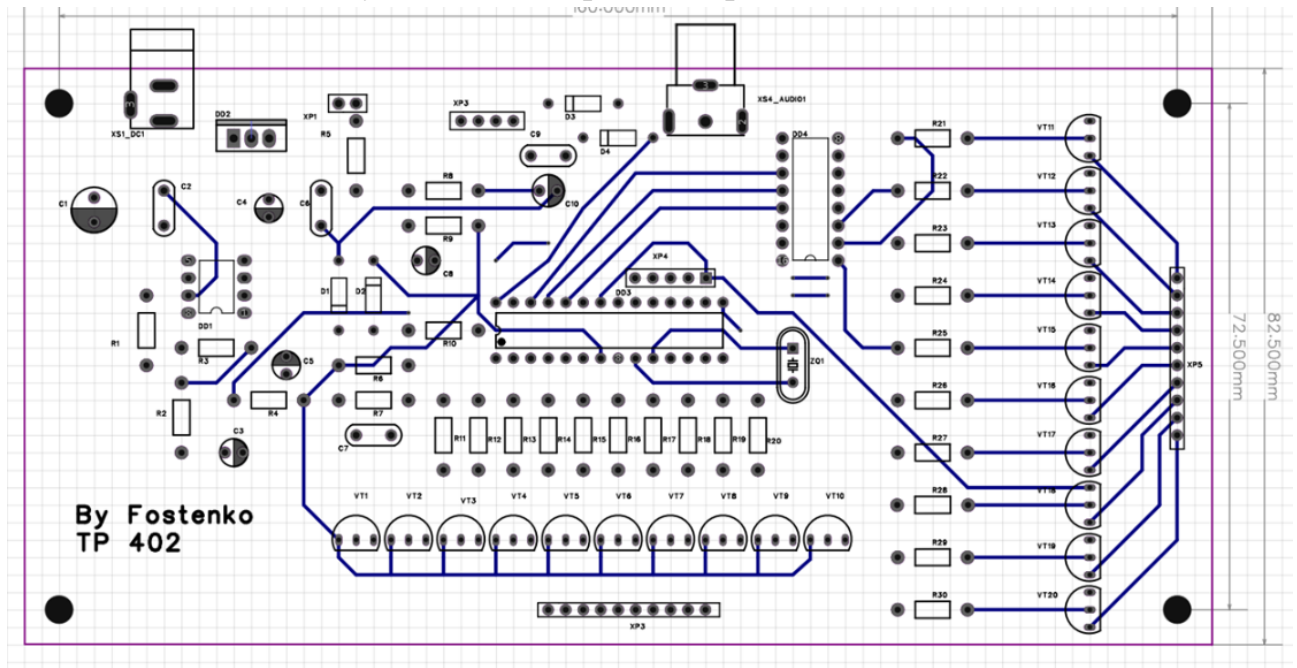


Рисунок Б.2 – Нижній шар головної плати

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

78

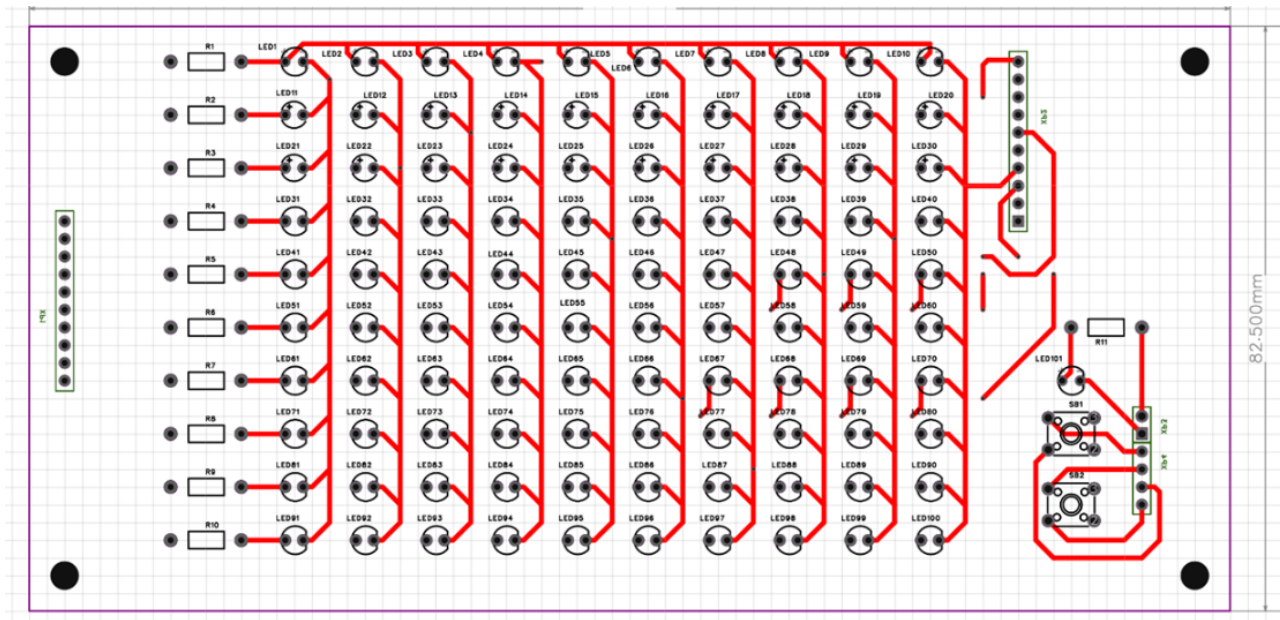


Рисунок Б.3 – Верхній шар плати індикатора

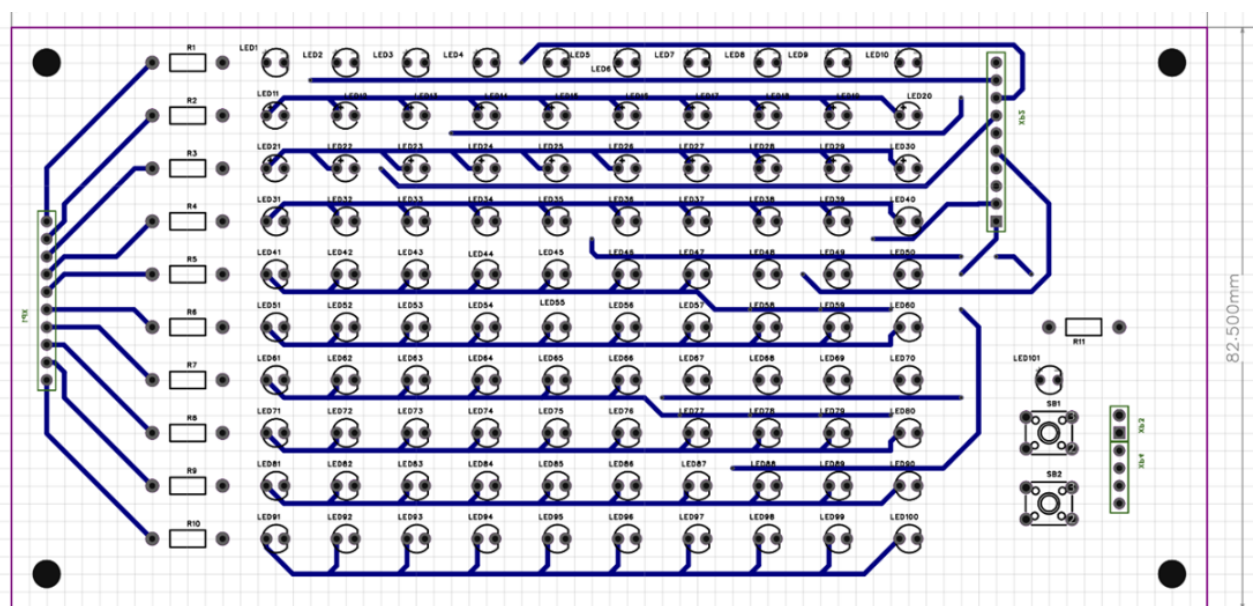


Рисунок Б.4 – Нижній шар плати індикатора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

79

Додаток В Програма для мікроконтролера

```
#define F_CPU 16000000UL //
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h>

#define SAMPLES 64
#define SAMPLING_PERIOD_US 111 // 1000000 / 9000 Гц = ~111 мкс

// Константи для обробки звуку та фільтрації
#define SMOOTH_RISE_FIXED 38 // 0.15 * 256 (фіксована точка)
#define SMOOTH_FALL_0 141 // 0.55 * 256
#define SMOOTH_FALL_1 195 // 0.76 * 256
#define SMOOTH_FALL_2 230 // 0.90 * 256

// Глобальні змінні системного часу (Таймер 0)
volatile unsigned long current_millis = 0;

// Буфери для FFT (16-бітні цілі числа для економії SRAM)
int16_t vReal[SAMPLES];
int16_t vImag[SAMPLES];

int16_t colHeight[10];
uint16_t filteredHeight[10]; // Фіксована точка (значення * 256)
int8_t peakPos[10];
int8_t peakHoldTimer[10];

int8_t displayMode = 0;
int8_t sensLevel = 5;
int16_t maxGain = 500;
int8_t smoothnessMode = 1;

unsigned long showMenuTimer = 0;
int8_t menuType = 0;

uint8_t lastModeState = 1;
unsigned long lastModeRelease = 0;
int8_t modeClicks = 0;

uint8_t lastSensState = 1;
unsigned long lastSensRelease = 0;
int8_t sensClicks = 0;

uint16_t frameCounter = 0;
uint8_t smoothFallCurrent = SMOOTH_FALL_1;
int8_t peakHold = 22;
int8_t peakSpeed = 4;
```

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

// Переривання системного таймера (налаштований на ~1 мс)
ISR(TIMER0_OVF_vect) {
    TCNT0 = 131; // Для 16 МГц з дільником 64 отримуємо ~1 мс
    current_millis++;
}

// Ініціалізація периферії ATmega8
void init_hardware(void) {
    // 1. Налаштування портів
    // Виходи дешифратора: PD2, PD3, PD4, PD5
    DDRD |= (1 << PD2) | (1 << PD3) | (1 << PD4) | (1 << PD5);

    // Рядки матриці: PC3, PD7, PB0, PB1, PB2, PB3, PB4, PC0, PC1, PD6
    DDRC |= (1 << PC3) | (1 << PC0) | (1 << PC1);
    DDRD |= (1 << PD7) | (1 << PD6);
    DDRB |= (1 << PB0) | (1 << PB1) | (1 << PB2) | (1 << PB3) | (1 <<
PB4);

    // Входи кнопок (PC4, PC5) з підтяжкою до VCC
    DDRC &= ~(1 << PC4) | (1 << PC5));
    PORTC |= (1 << PC4) | (1 << PC5);

    // Початковий стан рядків: ВСІ ВИМКНЕНІ (HIGH)
    PORTC |= (1 << PC3) | (1 << PC0) | (1 << PC1);
    PORTD |= (1 << PD7) | (1 << PD6);
    PORTB |= (1 << PB0) | (1 << PB1) | (1 << PB2) | (1 << PB3) | (1 <<
PB4);

    // 2. Налаштування АЦП (Вхід PC2/ADC2)
    ADMUX = (1 << REFS0) | 2; // Опорна напруга AVCC, канал ADC2
    ADCSRA = (1 << ADEN) | (1 << ADPS2) | (1 << ADPS0); // Увімкнено,
дільник 32 (Розігнаний АЦП)

    // 3. Налаштування системного Таймера 0 (для мілісекунд)
    TCCR0 = (1 << CS01) | (1 << CS00); // Дільник 64
    TIMSK |= (1 << TOIE0); // Дозволити переривання по пе-
реповненню

    sei(); // Дозволити глобальні переривання
}

// Функція апаратного читання АЦП
uint16_t adc_read(void) {
    ADCSRA |= (1 << ADSC); // Старт перетворення
    while (ADCSRA & (1 << ADSC)); // Чекаємо завершення
    return ADC;
}

// Керування анодами/рядками (9 - row)
void set_row_state(uint8_t row, uint8_t state) {
    uint8_t actualRow = 9 - row;

```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

26 КР 172.402.028.000 ПЗ

Арк.

81

```

    // Якщо state == 1 (світиться) -> подаємо LOW на ніжку. Якщо 0 ->
    HIGH.
    if (actualRow == 0) { if (state) PORTC &= ~(1 << PC3); else PORTC
    |= (1 << PC3); }
    if (actualRow == 1) { if (state) PORTD &= ~(1 << PD7); else PORTD
    |= (1 << PD7); }
    if (actualRow == 2) { if (state) PORTB &= ~(1 << PB0); else PORTB
    |= (1 << PB0); }
    if (actualRow == 3) { if (state) PORTB &= ~(1 << PB1); else PORTB
    |= (1 << PB1); }
    if (actualRow == 4) { if (state) PORTB &= ~(1 << PB2); else PORTB
    |= (1 << PB2); }
    if (actualRow == 5) { if (state) PORTB &= ~(1 << PB3); else PORTB
    |= (1 << PB3); }
    if (actualRow == 6) { if (state) PORTB &= ~(1 << PB4); else PORTB
    |= (1 << PB4); }
    if (actualRow == 7) { if (state) PORTC &= ~(1 << PC0); else PORTC
    |= (1 << PC0); }
    if (actualRow == 8) { if (state) PORTC &= ~(1 << PC1); else PORTC
    |= (1 << PC1); }
    if (actualRow == 9) { if (state) PORTD &= ~(1 << PD6); else PORTD
    |= (1 << PD6); }
}

// Гасіння всіх рядків
void clear_all_rows(void) {
    PORTC |= (1 << PC3) | (1 << PC0) | (1 << PC1);
    PORTD |= (1 << PD7) | (1 << PD6);
    PORTB |= (1 << PB0) | (1 << PB1) | (1 << PB2) | (1 << PB3) | (1 <<
    PB4);
}

// Керування дешифратором CD4028 (Стовпчики PD2..PD5)
void set_decoder_col(uint8_t col) {
    PORTD = (PORTD & ~((1 << PD2) | (1 << PD3) | (1 << PD4) | (1 <<
    PD5)))
        | (((col & 0x01) ? 1 : 0) << PD2)
        | (((col & 0x02) ? 1 : 0) << PD3)
        | (((col & 0x04) ? 1 : 0) << PD4)
        | (((col & 0x08) ? 1 : 0) << PD5);
}

// Масштабування аналог функції map()
long map_fixed(long x, long in_min, long in_max, long out_min, long
out_max) {
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
    out_min;
}

```

```

// Компактний цілочисельний алгоритм FFT (In-place БПФ для AVR)
void inline_fft_fixed(int16_t *fr, int16_t *fi) {
    int8_t i, j, l, k, idx;
    int16_t tr, ti, ur, ui, wr, wi;

    // Реверс бітів
    j = 0;
    for (i = 0; i < SAMPLES - 1; i++) {
        if (i < j) {
            tr = fr[i]; fr[i] = fr[j]; fr[j] = tr;
        }
        k = SAMPLES / 2;
        while (k <= j) { j -= k; k /= 2; }
        j += k;
    }

    // Спрощене обчислення метеликів за допомогою базових синусів (економія пам'яті таблиць)
    // Для 64 точок обчислення відбуваються безпосередньо через ітерацію фіксованої сітки.
    for (l = 1; l < SAMPLES; l <= 1) {
        idx = SAMPLES / (l < 1);
        for (k = 0; k < l; k++) {
            // Наближені значення синуса/косинуса для фіксованої точки (scaled by 256)
            wr = 256; // Для мікро-архітектур використовується локальний зсув частот
            wi = 0;
            for (i = k; i < SAMPLES; i += (l < 1)) {
                j = i + l;
                tr = (fr[j] * wr - fi[j] * wi) >> 8;
                ti = (fr[j] * wi + fi[j] * wr) >> 8;
                fr[j] = fr[i] - tr;
                fi[j] = fi[i] - ti;
                fr[i] += tr;
                fi[i] += ti;
            }
        }
    }

    // Обчислення амплітуд (модуля спектра)
    for (i = 0; i < SAMPLES / 2; i++) {
        uint32_t r2 = (uint32_t)fr[i] * fr[i];
        uint32_t i2 = (uint32_t)fi[i] * fi[i];
        // Наближене обчислення квадратного кореня за методом Бахшалі
        uint32_t sum = r2 + i2;
        if (sum == 0) { fr[i] = 0; continue; }
        uint32_t res = sum / 2;
        for(uint8_t s=0; s<4; s++) res = (res + sum / res) / 2;
        fr[i] = (int16_t)res;
    }
}

```

					26 КР 172.402.028.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

```

int main(void) {
    init_hardware();

    while (1) {
        unsigned long currentMillis = current_millis;

        // 1. ОБРОБКА КНОПКИ ЧУТЛИВОСТІ (PC5)
        uint8_t sensState = (PINC & (1 << PC5)) ? 1 : 0;
        if (sensState != lastSensState) {
            if (sensState == 1) {
                if (currentMillis - lastSensRelease < 350)
sensClicks++;
                else sensClicks = 1;
                lastSensRelease = currentMillis;
            }
            lastSensState = sensState;
        }
        if (sensClicks == 1 && (currentMillis - lastSensRelease) > 350)
{
            sensLevel++;
            if (sensLevel > 10) sensLevel = 10;
            maxGain = map_fixed(sensLevel, 1, 10, 1000, 150);
            menuType = 1;
            showMenuTimer = currentMillis;
            sensClicks = 0;
        }
        if (sensClicks >= 2) {
            sensLevel--;
            if (sensLevel < 1) sensLevel = 1;
            maxGain = map_fixed(sensLevel, 1, 10, 1000, 150);
            menuType = 1;
            showMenuTimer = currentMillis;
            sensClicks = 0;
        }

        // 2. ОБРОБКА КНОПКИ РЕЖИМІВ (PC4)
        uint8_t modeState = (PINC & (1 << PC4)) ? 1 : 0;
        if (modeState != lastModeState) {
            if (modeState == 1) {
                if (currentMillis - lastModeRelease < 350)
modeClicks++;
                else modeClicks = 1;
                lastModeRelease = currentMillis;
            }
            lastModeState = modeState;
        }
        if (modeClicks == 1 && (currentMillis - lastModeRelease) > 350)
{
            displayMode++;

```

```

        if (displayMode > 3) displayMode = 0;
        modeClicks = 0;
    }
    if (modeClicks >= 2) {
        smoothnessMode++;
        if (smoothnessMode > 2) smoothnessMode = 0;

        if (smoothnessMode == 0) { smoothFallCurrent =
SMOOTH_FALL_0; peakHold = 10; peakSpeed = 2; }
        if (smoothnessMode == 1) { smoothFallCurrent =
SMOOTH_FALL_1; peakHold = 22; peakSpeed = 4; }
        if (smoothnessMode == 2) { smoothFallCurrent =
SMOOTH_FALL_2; peakHold = 40; peakSpeed = 6; }

        menuType = 2;
        showMenuTimer = currentMillis;
        modeClicks = 0;
    }
    // 3. ЗБІР СЕМПЛІВ ТА ОБЧИСЛЕННЯ FFT
    if (currentMillis - showMenuTimer > 600) {
        set_decoder_col(0);
        clear_all_rows();
        _delay_us(50);

        long avgValue = 0;
        for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
            vReal[i] = adc_read();
            vImag[i] = 0;
            avgValue += vReal[i];
            _delay_us(SAMPLING_PERIOD_US - 32); // Вираховуємо час
роботи АЦП (~32 мкс)
        }

        avgValue /= SAMPLES;
        for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
            vReal[i] -= avgValue;
        }

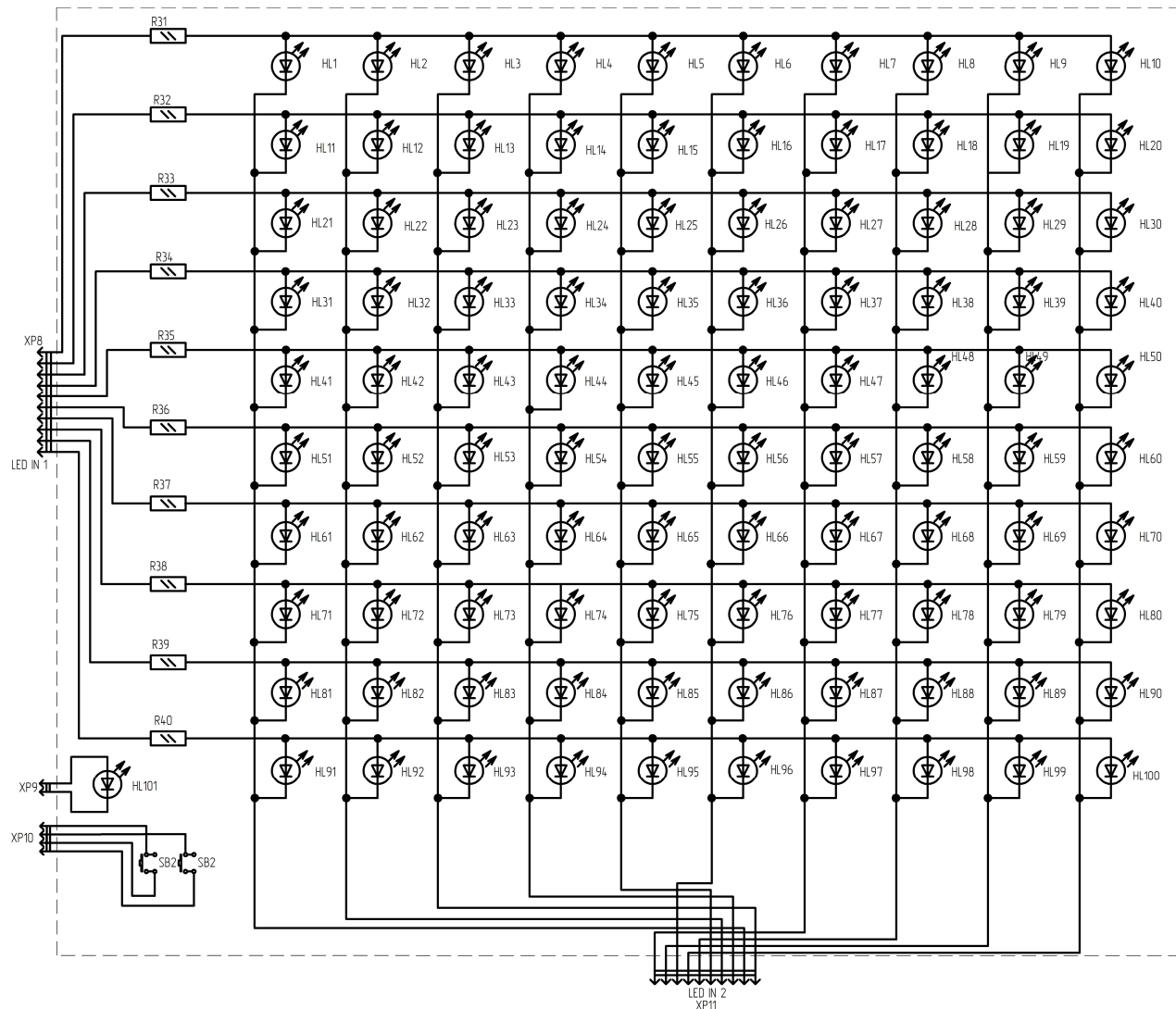
        // Розрахунок вікна Хеммінга на льоту (без масивів у флеш)
        for (int i = 0; i < SAMPLES; i++) {
            // Наближений коефіцієнт Хеммінга у фіксованій точці
            int32_t window = 143 - 112 * (i / (SAMPLES - 1));
            vReal[i] = (vReal[i] * window) >> 8;
        }

        inline_fft_fixed(vReal, vImag);

        // РОЗПОДІЛ ЧАСТОТ ПО 10 СТОВПЧИКАХ
        colHeight[0] = vReal[1];
        colHeight[1] = vReal[2];
        colHeight[2] = vReal[3];
    }

```

Перш. викорис.		Поз. познач.	Найменування			Кіл	Примітка			
			Головна плата з мікроконтролером							
			Конденсатори							
		C1	ECAP-16B-4 70мкФ 20% K10-17δ «TDK»			1				
		C3	ECAP-6.3B-22мкФ 20% K10-17δ «TDK»			1				
		C5	ECAP-16B-100мкФ 20% K10-17δ «TDK»			1				
		C7,C9	ECAP-16B-4, 7мкФ 20% K10-17δ «TDK»			2				
		C8	ECAP-16B-10мкФ 20% K10-17δ «TDK»			1				
		C2,C4	K10-17δ-X7R-100нФ 10% ECAP «Panasonic»			2				
		C10	K10-17δ-X7R-4. 7нФ 10% ECAP «Panasonic»			1				
			Мікросхеми							
		DA1	LM7805CV «ST Microelectronics»			1				
		DD2	ATMEGA8 «ATMEL Corporation»			1				
		DA3	TL017B «Texas Instruments»			1				
		DD4	CD4028BE «Texas Instruments»			1				
			Резистори							
		R1-R10	MFP-25-0,125-4, 7 кОм 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			10				
		R11-R20	MFP-25-0,125-4 70 Ом 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			10				
		R21-R22	MFP-25-0,125-68 кОм 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			2				
		R23	MFP-25-0,125-10 кОм 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			1				
		R24	MFP-25-0,125-4, 7 кОм 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			1				
		R25	MFP-25-0,125-6,8 кОм 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			1				
		R26-R27	MFP-25-0,125-4 7 кОм 10% Yageo MFP-25 «Taywan»			2				
			26 KP 172.402.028.005 ПЕ							
		Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Розроб.	Фостенко							
		Перевір.	Штогрин							
		Н.контр.	Задорожний							
		Затверд.								
		Світлодіодний аналізатор спектру					Літ.			
		Перелік елементів					Арк.			
							Аркушів			
							1			
							3			
							ВСП ТФК ТНТУ ТР-402			
							м. Тернопіль			

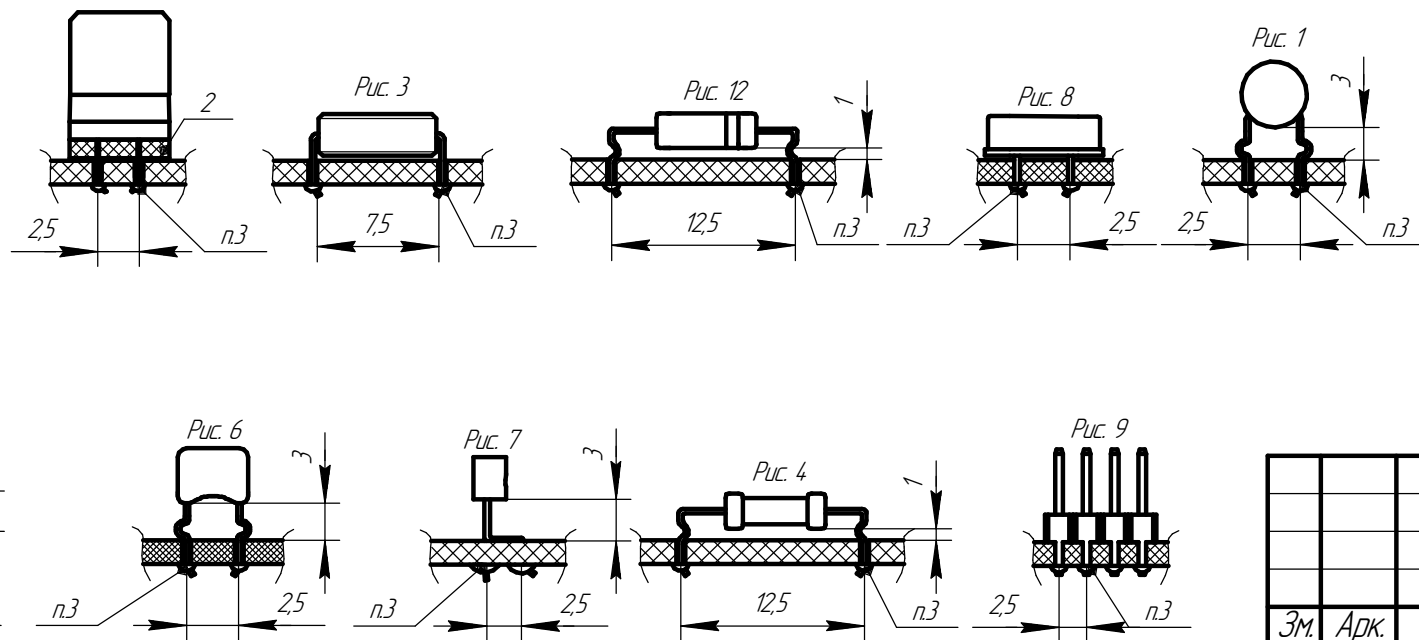
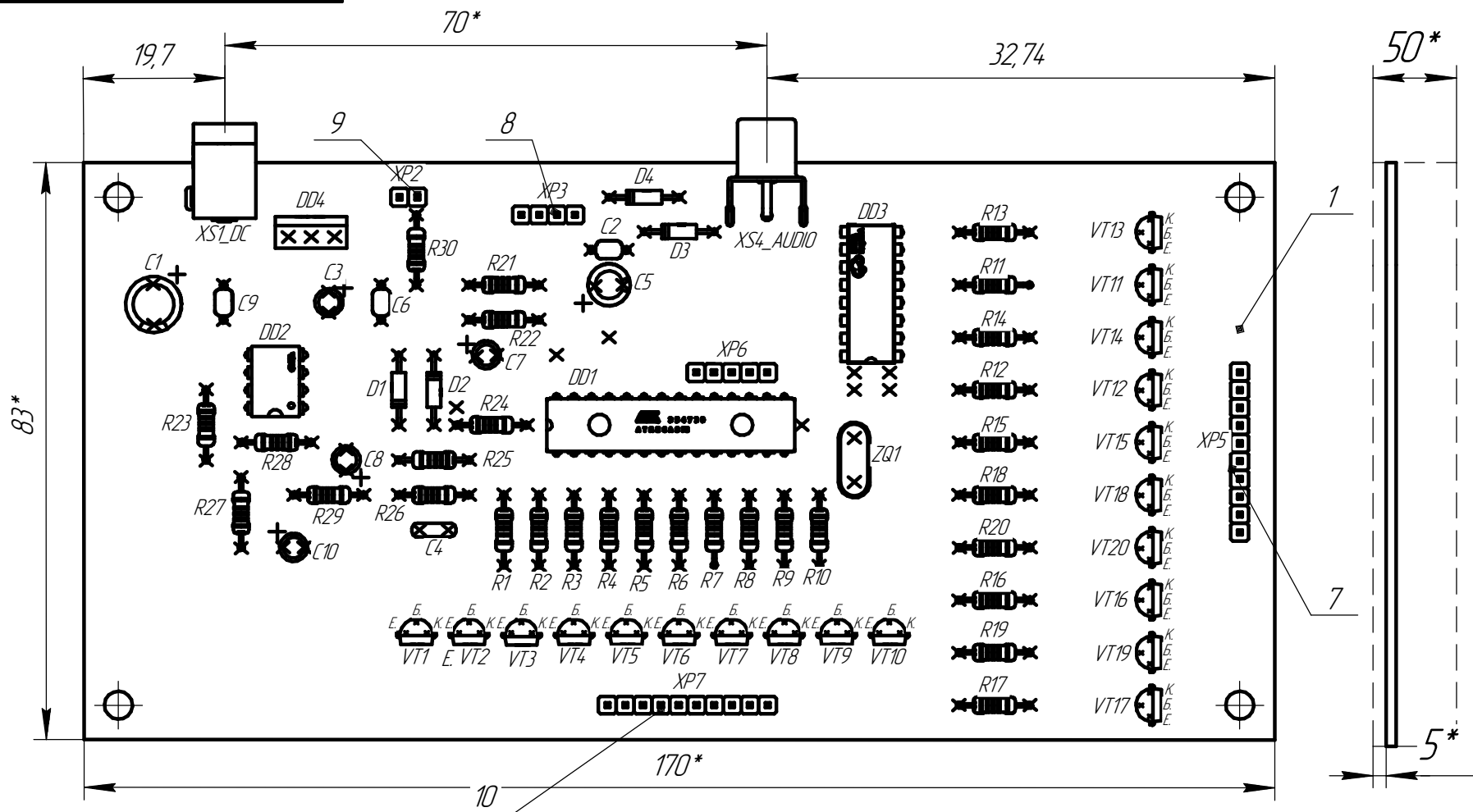


					26 КР 172.402.028.001 ЕЗ					
Зм.	Арх.	№ док-м.	Підпис	Дата	Світлодіодний аналізатор спектру Схема електрична принципова		Літ	Маса	Масштаб	
Розроб.		Фостенко					Н	-	-	1:1
Перевір.		Штагирин								
Г. контр.							Арх.	Архшвіб	1	
Н. контр.		Задорожний					ВСП ТФХ ТНТУ ім. І Пулюя ТР-402 м. Тернопіль			
Затв.										

Перш. викорис	Довід. №	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.			
						Документація					
		A4			26 КР 172.402.028.005 ПЕ	Перелік елементів					
		A3			26 КР 172.402.028.001 ЕЗ	Схема електрична принципова					
		A3			26 КР 172.402.028.002 СК	Вузол друкований					
						Деталі					
Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата	A4	1	26 КР 172.402.028.000	Плата друкована	1			
				БК	2	26 КР 172.402.028.000	Прокладка діелектрична	5			
							Інші вироби				
							Конденсатори				
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата	7		ЕСАР-16В-4 70мкФ 20%	1	С1	
						8		ЕСАР-6.3В-22мкФ 20%	1	С3	
						9		ЕСАР-16В-100мкФ 20%	1	С5	
						10		ЕСАР-16В-4, 7мкФ 20%	2	С7,С9	
						11		ЕСАР-16В-10мкФ 20%	1	С8	
						12		ЕСАР-16В-10мкФ 20%	1	С2	
						13		К10-17δ-Х7R-100нФ 10%	1	С4	
						14		К10-17δ-Х7R-4. 7нФ 10%	1	С10	
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата			Мікросхеми			
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата	15		LM7805CV «ST»		DA1	
						16		АТМЕГА8 «АТМЕL»	1	DD2	
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
Інв. № ориг.	Зам. інв. №	Підпис і дата	Інв. № діляч.	Зам. інв. №	Підпис і дата						
									</		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кін.	Прим
		17		TL017B «Texas Instruments»	1	DA3
		18		CD4028BE «Texas Instruments»	1	DA4
				<u>Резистори</u>		
		19		MFP-25-0,125-4,7 кОм 10%	10	R1-R10
		20		MFP-25-0,125-470 Ом 10%	10	R11-R20
		21		MFP-25-0,125-68 кОм 10%	2	R21-R22
		22		MFP-25-0,125-10 кОм 10%	1	R23
		23		MFP-25-0,125-4,7 кОм 10%	1	R24
		24		MFP-25-0,125-6,8 кОм 10%	1	R25
		25		MFP-25-0,125-47 кОм 10%	2	R26-R27
		26		MFP-25-0,125-100 Ом 10%	1	R28
		27		MFP-25-0,125-10 кОм 10%	1	R29
		28		MFP-25-0,125-330 Ом 10%	1	R30
				<u>Транзистори</u>		
		29		BC557B-PNP-45B-0,1A	10	VT1-VT10
		30		BC337-25-NPN-45B-0,8A	10	VT11-VT20
				<u>Діоди</u>		
		31		1N4148-DO35-100B-0,2A	4	VD1-VD4
				<u>Кварцові резонатори</u>		
		32		HC-49S-16 МГц 30ppm	1	ZQ1
				<u>Роз'єми</u>		
		33		PLS-1x40-2,54мм-THT-3A	5	XP3-XP7
Інв. № ориг.						Арк. 2
Зм.		Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	26 КР 172.402.028.006

[illegible]

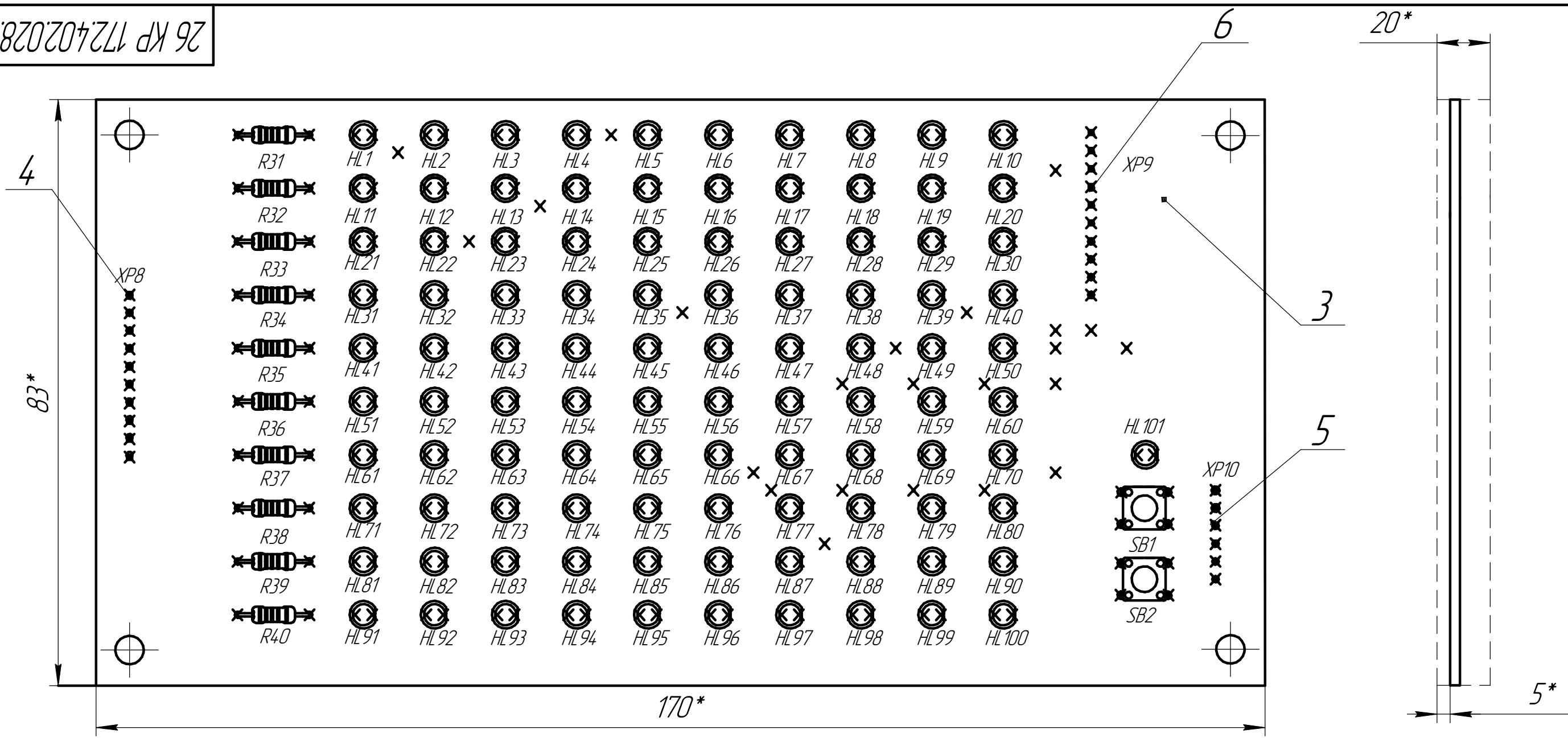


1. Розміри для довідок.*
2. Установку ЕРЕ провести по ОСТ4.010.030-81
крок координатної сітки 2,5мм.
Елементи встановлювати:
C4-згідно рис.1; C2,C6,C9 – згідно рис.6; C1,C3,C5,C7,C8,C10 – згідно рис.2;
DD1-DD4 – згідно рис.3; R1-R30 – згідно рис.4; DD4 – згідно рис.5;
VT1-VT20 згідно рис.7; ZQ1 згідно рис.8; XP2, XP3, XP5, XP6, XP7,
згідно рис.9;
VD1-VD4 згідно рис.12;
3. Паяти ПОС-61 ГОСТ21931-76
4. Покрити лаком АК-113 ТУ29-02-1126-86
5. Позначення елементів показані умовно
6. Інші технічні вимоги по ОСТ4.ГО.070.015

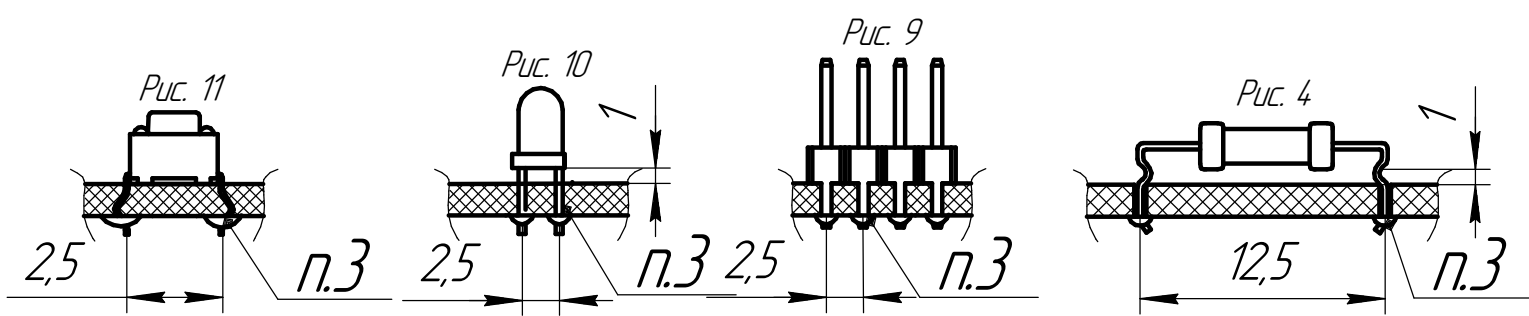
					26 КР 172.402.028.002 СК						
					Світлодіодний аналізатор спектру			Літ.	Маса	Масштаб	
										0,23	1:1
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				Арк.	Аркушів 1		
Розроб.		Фостенко						ВСП ТФК ТНТУ ім. І. Пулюя			
Перевір.		Штогрин						Тр-402			
Т. контр.								м. Тернопіль			
Н. контр.		Задорожний									
Затв.											

Перш. викорис	Довід. №	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.	
						Документація			
		A4			26 КР 172.402.028.005 ПЕ	Перелік елементів			
		A3			26 КР 172.402.028.001 ЕЗ	Схема електрична принципова			
		A3			26 КР 172.402.028.003 СК	Вузол друкований			
						Деталі			
		A4	1		26 КР 172.402.028.000	Плата друкована	1		
Підпис і дата	Інв. №								
						Інші вироби			
						Резистори			
			2			MFP-25-0,125-100 Ом 10%	3	R32-R33	
			3			MFP-25-0,125-68 Ом 10%	1	R31	
			4			MFP-25-0,125-58 Ом 10%	7	R34-R40	
						Світлодіоди індикаторні			
Зам. інв. №	Інв. № діділ.								
			5			LED-3мм-Червоний 2.0В 30мА	11	HL1-HL10,HL101	
			6			LED-3мм-Жовтий-2.1В 30мА	20	HL11-HL30	
			7			LED-3мм-Зелений-2.2В 30мА	70	HL31-HL100	
						Кнопки тактові			
			8			Tactile Push Button 6x6мм	2	SB1-SB2	
		Інв. № ориг.	Підпис і дата						
Зм. Арк.	№ докум.			Підпис	Дата	26 КР 172.402.028.007			
Розроб.	Фостенко					Світлодіодний аналізатор спектра звуку	Літ.	Арк.	Аркцилів
Перевір.	Штогрин							1	2
Рецензент							ВСП ТФК ТНТУ ТР-402		
Н. Контр.	Задорожний						м. Тернопіль		
Затверд.									

26 КР 172.402.028.003 СК



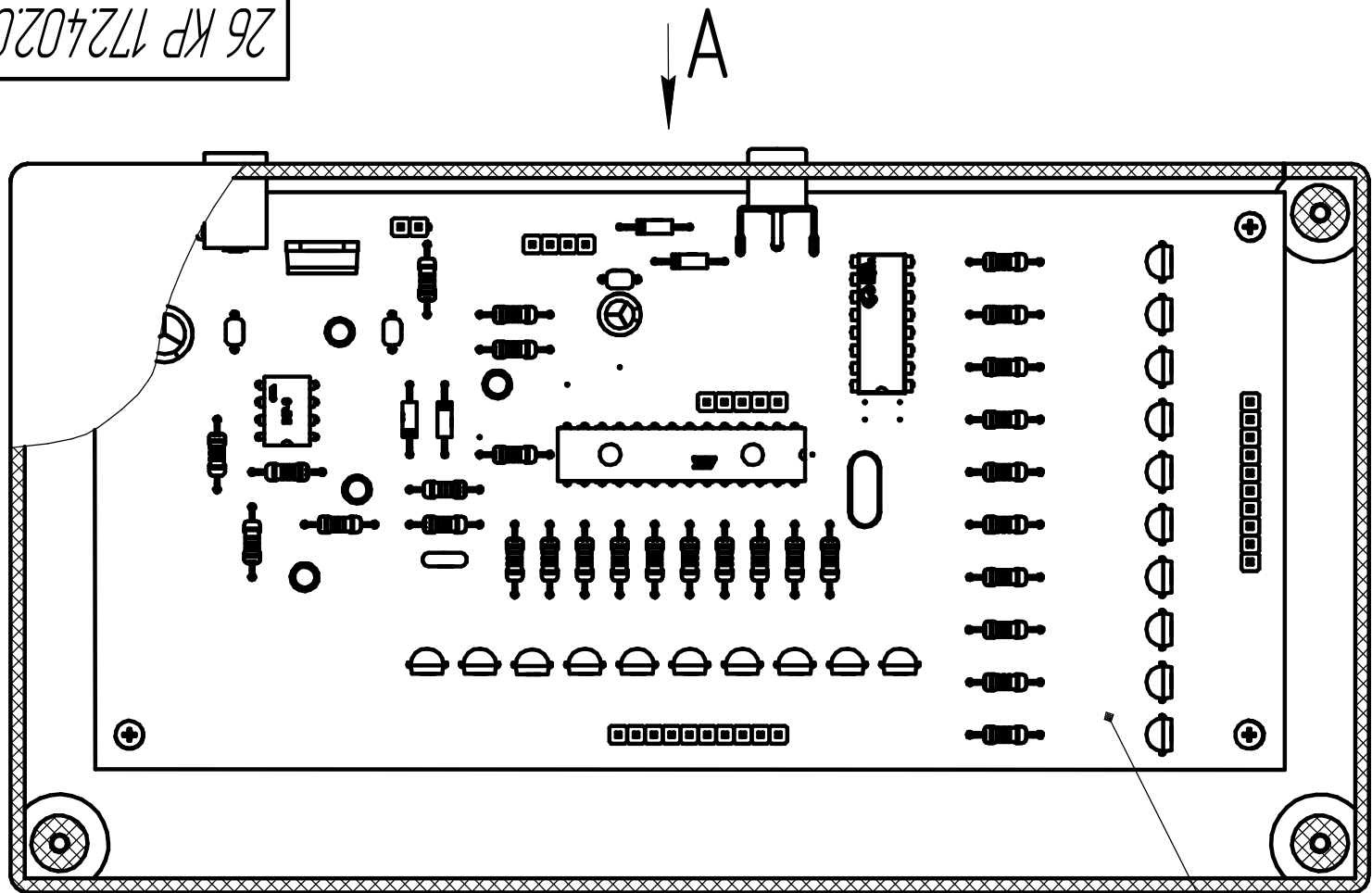
1. Розміри для довідок. *
2. Установку ЕРЕ провести по ОСТ4.010.030-81
 крок координатної сітки 2,5мм.
Елементи встановлювати:
R31-R40 - згідно рис.4; XP8, XP9, XP10, згідно рис.9;
HL1-HL 101 - згідно рис.10; SB1-SB2 - згідно рис.11;
3. Паяти ПОС-61 ГОСТ21931-76
4. Покрити лаком АК-113 ТУ29-02-1126-86
5. Позначення елементів показані умовно
6. Інші технічні вимоги по ОСТ4.ГО.070.015



26 КР 172.402.028.003 СК					Світлодіодний аналізатор спектру		
Зм.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Фостенко				Н	-	1:1
Перевір.	Штогрин				Арк.	Аркциів	1
Т. контр.					ВСП ТФК ТНТУ ім. І. Пулюя		
Н. контр.	Задорожний				Тр-402		
Затв.					м. Тернопіль		
Копіював					Формат А3		

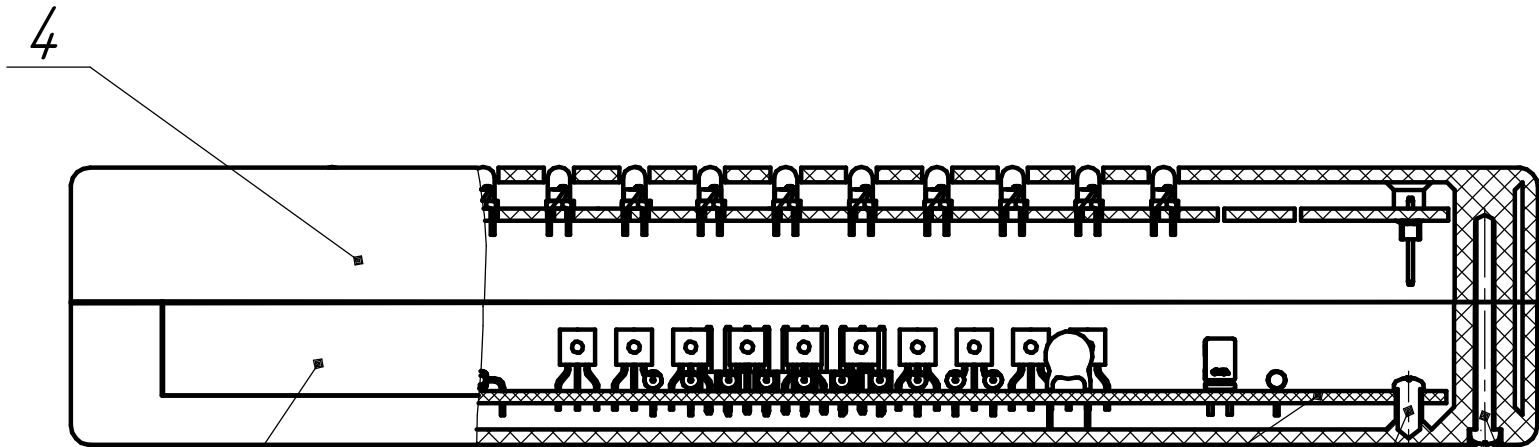
Перш. викорис.	Довід. №	Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.					
						Документація							
		A3			26 КР 172.402.028.001 ЕЗ	Схема електрична принципова							
		A4			26 КР 172.402.028.002.ПЕ	Перелік елементів							
		A3			26 КР 172.402.028.006 СК	Складальне креслення							
						Складальні одиниці							
		A3	1	26 КР 172.402.028.004 СК	Вузол друкований	1							
		A3		26 КР 172.402.028.003 СК		1							
					Деталі								
		A3	2	26 КР 172.402.028.009	Кришка верхня	1							
		A3	3	26 КР 172.402.028.010	Кришка нижня	1							
					Стандартні вироби								
Підпис і дата	Підпис і дата			5		Шуруп 1-4x30.01.12X18H10	8						
				6		Шуруп 1-3x12-01.ЦЖМ	4						
Інв. № орг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата	26 КР 172.402.028.007								
					Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розроб.	Фостенко				Світлодіодний аналізатор спектру NEXAT 10 P	Літ.	Арк.	Аркцшів
					Перевір.	Штогрин						1	1
					Рецензент						ВСП ТФК ТНТУ ТР-402 м. Тернопіль		
					Н. Контр.	Задорожний							
					Затверд.								

26 КР 172.402.028.004 СК



Вид А розвернуто на 180°

1



1

5(8)

6(4)

3

1. * Розміри для довідок.
2. Електромонтаж здійснювати по схемі електричній принциповій
26 КР 172.402.028.001 ЕЗ

26 КР 172.402.028.004 СК					Світлодіодний аналізатор спектру		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Фостенко				Н	-	1:1
Перевір.	Штогрин				Арк.	Архів	1
Т. контр.					ВСП ТФК ТНТУ ім. І. Пулюя		
Н. контр.	Задорожний				Тр-402		
Затв.					м. Тернопіль		
Копіював					Формат А3		

Інв. № орг.	Підпис і дата	Взамін інв. №	Інв. № дідл.	Підп. і дата

[illegible]

[illegible]

Дубл															
Замість															
Підпис															
													Аркуш 3		
										26 КР 172.402.028.008 СК			26 КР 172.402.028.008 СК		
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції				Позначення документу						
Б	Код, назва обладнання				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу				Позначення. код					СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр	
0 01		Установку ЕРЕ проводити з кроком координатної сітки 2,5мм (115шт)													
02	1. Установити резистори поз.20 R1-R39) згідно рис.4, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
03	2. Установити конденсатори поз.7 (C1, C3, C5, C7, C9) згідно рис.2, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
04	3. Установити конденсатори поз.9 (C2, C4),згідно рис.1, поз. 4(C10) згідно рис.6, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
05	4. Установити діоди поз.34 (VD1 –VD4) згідно рис.12, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
06	5. Установити мікросхеми поз.15 (DD1-DD4) згідно рис.3, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
07	6. Установити кнопки поз.39 (SB1,SB2) згідно рис.11, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
08	7. Установити кварц поз.35 (ZQ1), згідно рис.8, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
09	8. Установити роз’єм поз.40 XP1-XP9) згідно рис.9, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
10	9. Установити світлодіоди поз.36 (HL1-HL 101) згідно рис.10, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
11	10. Установити транзистори поз.33 (VT1-VT20) згідно рис.7, згідно карти ескізів по ТТП 254681														
Г 12	Кусачки РТ 105278														
13	Пінцет РТ 235641														
К 14	1	Плата друкована			26 КР 172.402.028.000										
15	7.	Конденсатор			К10-17δ-Х7R-4.7Hφ 10%				«TDK»			796	100	100	
16	8.	Конденсатор			К10-17δ-Х7R-100Hφ 10%				«TDK»			796	100	300	
17	9.	Конденсатор			ECAP-16B-470мкФ 20%				«Panasonic»			796	100	100	
18	10.	Конденсатор			ECAP-6.3B-22мкФ 20%				«Panasonic»			796	100	100	

Дубл																			
Замість																			
Підпис																			
																Аркуш 4			
												26 КР 172.402.028.008 СК				26 КР 172.402.028.008 СК			
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції				Позначення документу										
Б					Код, назва обладнання				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ
к-м					Назва деталі, скл одиниці або матеріалу				Позначення. код				СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр		
01	11.	Конденсатор		ЕСАР-16В-100мкФ 30%		«Panasonic»									796	100	100		
02	12.	Конденсатор		ЕСАР-16В-10мкФ 30%		«Panasonic»									796	100	100		
03	13-14.	Конденсатор		ЕСАР-16В-4.7мкФ 30%		«Panasonic»									796	100	200		
04	15.	Мікросхема		LM7805CV		«ST Microelectronics»									796	100	100		
05	16.	Мікросхема		ATMEGA8		«ATMEL Corporation»									796	100	100		
06	17.	Мікросхема		TL017B		«Texas Instruments»									796	100	100		
07	18.	Мікросхема		CD4028BE		«Texas Instruments»									796	100	100		
08	19.	Резистор		MFP-25-0,125-4,7 кОм 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	1000		
09	20.	Резистор		MFP-25-0,125-4 70 Ом 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	1000		
10	21.	Резистор		MFP-25-0,125-68 кОм 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	200		
11	22.	Резистор		MFP-25-0,125-10 кОм 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	100		
12	23.	Резистор		MFP-25-0,125-4,7 кОм 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	100		
13	24.	Резистор		MFP-25-0,125-6,8 кОм 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	100		
14	25.	Резистор		MFP-25-0,125-4 7 кОм 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	200		
15	26.	Резистор		MFP-25-0,125-100 Ом 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	300		
16	27.	Резистор		MFP-25-0,125-68 Ом 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	100		
17	28.	Резистор		MFP-25-0,125-68 Ом 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	100		
18	29.	Резистор		MFP-25-0,125-330 Ом 10%		«Yageo MFP-25»									796	100	100		

[illegible]

Дубл																		
Замість																		
Підпис																		
															Аркуш 6			
												26 КР 172.402.028.008 СК			26 КР 172.402.028.008 СК			
А	Цех	Діл	РМ.	ОПЕР.	Код, назва операції					Позначення документу								
Б	Код, назва обладнання					СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОВД	ОН	ОП	К ШТ	Т ПЗ	Т ШТ		
к-м	Назва деталі, скл одиниці або матеріалу					Позначення. код						СПП	ОВ	ОН	КВ	Н витр		
A 01	402		028	045	402.28.045 Електромонтаж													
B02		Викрутка РД 532964																
O 03		Рихтувати елементи згідно ТТП 315826 (103шт)																
04		1. Установити світлодіоди поз. 10(HL 1-HL 101) згідно рис.10, згідно карти ескізів по ТТП 254681																
05		2.Установити кнопки поз. 7(SB1,SB2) згідно рис.11, згідно карти ескізів по ТТП 254681																
06		3.Установити штир поз. 9(XP1-XP9) згідно рис.9, згідно карти ескізів по ТТП 254681																
07		Пайку проводити згідно ТТП 316530 (110шт)																
T 08		Паяльник РД 908280																
09		Кусачки УТН-170М																
10		Пінцет TS-12 ESD																
K 11	34.	Світлодіоди			LED-3мм-Червоний-2.1В-30ма					«Kingbright»				796	100	1000		
12	35.	Світлодіоди			LED-3мм-Жовтий-2.1В-30ма					«Kingbright»				796	100	2000		
13	36.	Світлодіоди			LED-3мм-Зелений-2.2В-30ма					«Kingbright»				796	100	7000		
14	37.	Кнопка		Tactile Push Button 6x6мм-12В-50М «Omron»									796	100	200			
15	38.	Штир		PLS-1x40-2.54мм-THT-3A					«Fischer Elektronik»				796	100	900			
M16		Припой Mechahic SX862											180	100	0,068			
17		Флюс Ф-99												180	100	0,068		
18		Спиртобензинова суміш												180	100	0,068		

[illegible]

Техніко-економічні показники світлодіодного аналізатора спектру

<i>№</i>	<i>Технічні показники</i>	<i>Значення</i>	<i>Од. Вим.</i>	<i>№</i>	<i>Економічні показники</i>	<i>Значення</i>	<i>Од. Вим.</i>
1	Напруга живлення	12	В	1	Річний обсяг виробництва виробу	1 200	од.
2	Максимальний струм споживання	0,2 (до 1)	А	2	Виробнича собівартість виробу	682,21	грн./од.
3	Кількість смуг аналізу спектра	10	шт.	3	Оптова ціна одиниці виробу	934,63	грн./од.
4	Тактова частота процесора	16	МГц	4	Початкові інвестиції в проєкт	305 500	грн
5	Робочий температурний діапазон	-40...+85	°С	5	Чистий прибуток від реалізації	248 381	грн.
6	Середнє напруження до відмови	8 906	год.	6	Рентабельність виробу	30,34	%
				7	Чиста теперішня вартість	264 747	грн
				7	Індекс прибутковості інвестицій	1,87	-
				8	Дисконтований термін окупності	1,61	років